Die Bestimmung der Drain-Entfernung auf Grund der Hygroskopizität des Bodens

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät der
Königlichen Albertus-Universität
zu Königsberg i. Pr. vorgelegt von

Robert Breitenbach



Druck von R. Leupold, Königsberg i. Pr., Baderstraße 8-11 : 1911

Gedruckt mit Genehmigung der Philosophischen Fakultät
der Königlichen Albertus-Universität zu Königsberg i. Pr.

Referent: Professor Dr. Mitscherlich

1. Einleitung.

Die Entwässerung der Ländereien durch unterirdische Sickerkanäle und Rohrleitungen — die Drainage — ist schon sehr alt und läßt sich bis ins 3. Jahrhundert v. Chr. G. nachweisen. Im Mittelalter scheint diese Kunst jedoch ganz verloren gegangen zu sein, da sich aus dieser Zeit Aufzeichnungen über die genannte Art der Bodenverbesserung nirgends vorfinden. Erst um die Mitte des 17. Jahrhunderts wurde die Drainage in England neu erfunden und mit Erfolg angewandt. Die Drainage der damaligen Zeit wurde aus Steinen, Faschinen, Ziegeln und dergl. hergestellt. Im Jahre 1808 kamen die ersten runden Tonröhren zur Verwendung.[1]) Es ist aber erwiesen, daß auch schon die Römer runde Röhren zu dem Zweck benutzt haben.

Eine allgemeinere Anwendung der Röhrendrainage wurde indessen erst nach der Erfindung der Drainröhrenpresse durch Parkes-Shrewsbury[2]) im Jahre 1843 ermöglicht. Infolge ihrer vielen Vorzüge gegenüber allen anderen Drainagen werden heute fast ausschließlich Röhren-, und nur noch in besonderen Fällen Stein-, Faschinen-, Lattendrains usw. angewandt.

Von England kam die Drainage sehr bald nach Belgien, Frankreich und Deutschland.

Anfangs handelte es sich im allgemeinen nur um eine sogenannte wilde Drainage, bei welcher nur besonders nasse Stellen eines Ackers durch einzelne Drainzüge entwässert wurden. Später ging man zu Verzweigungen der Drainleitungen über, bis man schließlich zu der heute üblichen systematischen Drainage gelangte, bei welcher zahlreiche Drains sich in regelmäßiger Entfernung über das ganze Feld verteilen und zu einer oder mehreren Hauptleitungen vereinigen.

Im Laufe der Jahre hat die Drainage eine so große Bedeutung für die Landwirtschaft gewonnen, daß man sie heute wohl an die erste Stelle aller Meliorationsunternehmungen stellen darf. Um so mehr

[1]) Vogler: Grundlehren der Kulturtechnik. Berlin 1898 S. 538.

[2]) Zink: Entwickelung der Entwässerungen. Prag. S. 22. Selbstverlag.

ist es zu bewundern, daß das Gebiet der Drainage zu den wenigst erforschten des gesamten Meliorationswesens gehört. Sichere Grundlagen für die Ausführung wirklich rationeller Drainagen fehlen uns noch vollständig.

Bei der technischen Ausführung der systematischen Drainage sind vor allem zwei wichtige Fragen zu entscheiden:

1. Welches ist die zweckmäßigste Tiefenlage der Drains?
2. Wie groß ist die Entfernung der Drainstränge zu bemessen, um einerseits eine nach jeder Richtung hin genügende Entwässerung zu erzielen, anderseits die Drains im Interesse der Kostenersparnis nicht enger zu legen, als zur Erreichung dieses Zieles unbedingt notwendig ist?

Die Lösung dieser Fragen begegnet erheblichen Schwierigkeiten, weil sie nur auf Grund eingehender Kenntnis der physikalischen Eigenschaften des Bodes möglich ist. Außerdem kommt dabei noch die Lagerung der einzelnen Bodenschichten, in geringerem Maße auch die geologische Beschaffenheit und die topographische Gestaltung des zu drainierenden Geländes in Betracht. In diesen Schwierigkeiten mag wohl der Grund zu suchen sein, daß wir heute zuverlässige Grundlagen für die Bemessung der zweckmäßigsten Entfernung und Tiefe der Drains überhaupt noch nicht haben. Die häufig genug auftretenden Klagen über mangelhafte oder ungenügende Wirkung einer Drainage sind ein Beweis dafür, wie unsicher noch unsere heutige Methode des Drainierens ist, sobald es sich um die schweren und relativ undurchlässigen Tonböden handelt.

Ob ein Boden richtig oder falsch drainiert ist, läßt sich beim Tonboden am ehesten nachweisen, weil es sich hier am deutlichsten fühlbar macht. Naturgemäß wird in der Regel ein Fehler in der Anlage einer Drainage sich nur dann zeigen, wenn die Wirkung eine unzureichende ist. Man hat kaum jemals gehört, daß die Drainage eine zu große Austrocknung des Bodens bewirkt habe. Im Gegenteil ist beobachtet worden, daß bei großer Dürre drainierte Äcker weniger zu leiden hatten als nicht drainierte.[1])

Vielfach wird noch die Meinung vertreten, daß die Drainage lediglich die Entfernung des Grundwassers bis auf eine gewisse Tiefe bezwecken solle.[2]) Demgemäß würde sich die Bemessung der Tiefenlage der Drains hauptsächlich nach dem Gesichtspunkt zu richten

---

[1]) Der Kulturtechniker, Zeitschrift d. Schles. Ver. z. Förderung d. Kulturtechnik. Breslau. Jahrg. 1905. S. 199.

[2]) Merl, Neue Theorie der Bodenentwässerung. Ansbach. 1890. S. 16; Kulturtechniker Jahrg. 1911 S. 2

haben, wie tief man das Grundwasser absenken will. Dies ist aber durchaus nicht zutreffend. In tiefgründigem Ton ist durch zahlreiche Versuche festgestellt worden, daß bei zunehmender Tiefe der Boden trockener wurde, und daß sich im Untergrund überhaupt kein Grundwasser vorfand. Trotzdem ist ein solcher Boden wohl stets drainagebedürftig. Es kommt hier also nicht eine Beseitigung des Grundwassers, sondern lediglich eine Fortschaffung des von oben nach unten langsam in den Boden eindringenden Niederschlagswassers in Frage. Auf diese Verschiedenartigkeit in Bezug auf die Ursache der schädlichen Nässe wird man bei der Wahl der Tiefenlage der Drains Rücksicht nehmen müssen, wie wir später noch sehen werden.

Überlegen wir nun zunächst die Frage: Wie macht sich das Vorhandensein eines Drainstranges oder besser zweier benachbarter Drains auf das Bodenwasser geltend?

Schon durch die bekannten Versuche von Delacroix ist festgestellt, daß infolge der Wirkung zweier Drains (oder Gräben) der Grundwasserspiegel die Form einer Kurve annimmt, deren Kulminationspunkt bei ebenem Gelände in der Mitte zwischen den beiden Drains liegt, und deren geringere oder stärkere Neigung bis zur Mitte von der Durchlässigkeit oder richtiger den Kapillaritätserscheinungen in dem betreffenden Boden abhängig ist. Neuere Versuche haben ergeben, daß bei leichtem, durchlässigem Boden die Kurve vom Rohr nach beiden Seiten sanft ansteigt, daß sie aber bei schwerem Boden zuerst steil aufwärts geht, nachher mit geringer Steigung und schließlich parallel zur Geländeoberfläche weiter verläuft. Eine sehr anschauliche Begründung für diese Erscheinung gibt Spöttle[1]), auf die ich hier deshalb hinweisen möchte.

Aus diesen Beobachtungen können wir entnehmen:

1. daß die Wirkung eines Drainrohres in leichtem Boden viel weiter reicht als in schwerem Boden und deshalb die Drains in ersterem größeren Abstand haben können als in letzterem;
2. daß auch die Tiefenlage von Einfluß ist auf den Wirkungsbereich eines Drainrohrs, daß nämlich bei größerer Tiefe beiderseits ein breiterer Geländestreifen entwässert wird, als bei flacherer Lage der Röhren;
3. daß die Tiefenlage und die Wirkungsweite eines Drainrohres keine proportionalen Größen sind, sondern daß der Einfluß der Tiefenlage auf die zulässige Drainentfernung mit der Abnahme der Durchlässigkeit eines Bodens bedeutend geringer wird.

---

[1]) Spöttle: Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften. III. Abschn. 7. Bd. Leipzig 1907 S. 104.

Während also in leichterem Boden eine größere Tiefe auch eine größere Entfernung der Drains gestattet, wird in schwerem Tonboden in Bezug auf den Wirkungsbereich kaum noch ein merkbarer Unterschied festzustellen sein, wenn eine Drainage beispielsweise 1,25 oder 1,15 m tief liegt. —

2. Die Tiefe der Drains.

Aus vorstehenden Darlegungen geht hervor, daß wir Untersuchungen über die zweckmäßigste Entfernung nicht anstellen können, ohne dabei auch die Tiefenlage der Drains zu berücksichtigen. Es erscheint daher auch notwendig, über die in der Praxis geübten Grundsätze, welche bei der Bemessung der Draintiefe maßgebend waren und sind, einiges auszuführen.

Als allgemeiner Grundsatz gilt bisher: „Je tiefer die Drains gelegt werden, desto größer kann auch die Entfernung sein."

Die Tiefenlage der älteren Drainagen war im allgemeinen eine verhältnismäßig geringe; sie betrug 0,80 bis 1 m. Doch fand dieses Tiefenmaß sehr bald Gegner, die eine größere Tiefe für zweckmäßiger erklärten. So empfahl Parkes 4 bis 5 Fuß, Stephens für durchlässigen Boden 3 Fuß, für Lehmboden 4 Fuß, für Tonboden 5 Fuß. In Böhmen und Württemberg legt man die Drains in leichterem Boden auf 1,30 m, in schwerem Boden auf 1,40 m, bei Zuckerrübenbau auf 1,50 m und mehr Tiefe. Auch in der Schweiz erhalten nach den neueren Bestimmungen die Drains eine Tiefenlage von 1,30 bis 1,50 m.

In *England*[1]) hat man mit vollkommenem Erfolg in neuerer Zeit die Drainage gelegt:

in sehr schwerem Boden	auf	0,76	bis	0,84 m	Tiefe
in Mittelboden	„	0,915	„	0,99 m	„
in leichterem Boden	„	1,07	„	1,37 m	„

In *Preußen* schreibt die amtliche Anweisung[2]) eine Normaltiefe für alle Bodenarten von 1,25 m vor, dieselbe Tiefe, die schon Vincent um die Mitte des vorigen Jahrhunderts als die zweckmäßigste empfohlen hat.

Mögen diese Beispiele genügen, um darzutun, wie weit die Ansichten der Kulturtechniker in Bezug auf die zweckmäßigste Tiefenlage der Drains auseinandergehen. Die Unterschiede sind so groß,

[1]) Marcel de Ville-Chabrolle: Contributions à l'étude des propriétés des terres. Paris 1908. p. 34.

[2]) Anweisung f. d. Aufstellung u. Ausführung von Drain.-Entwürfen. Herausgeg. v. d. Kgl. Gen.-Kom. f. Schlesien. Berlin 1911.

daß sie durch besondere Eigentümlichkeiten des Klimas oder der Niederschlagsverhältnisse der betreffenden Gegenden, welche natürlich dabei auch eine Rolle spielen, nicht hinreichend begründet werden.

Am meisten fällt es auf, daß man in Böhmen gerade in umgekehrtem Sinne verfährt, wie in England. Während man hier bei zunehmender Durchlässigkeit des Bodens die Tiefe vergrößert, legt man dort die Drains in leichterem Boden flacher.

Bei uns hat sich im allgemeinen die übliche Tiefe von 1,25 m bewährt. Nur bei ganz schweren, undurchlässigen Tonböden sind in neuerer Zeit vielfach Bedenken über die Zweckmäßigkeit dieser Normaltiefe laut geworden, weil vielfach auf solchem Boden ausgeführte Drainagen nur mangelhaft ihren Zweck erfüllt oder gänzlich versagt haben. Mit mir sind viele Kulturtechniker und Landwirte der Überzeugung, daß für schwere Tonböden eine geringere Tiefe von 1 bis 1,10 m zweckmäßiger ist. Dies wird auch durch die in England gemachten Erfahrungen durchaus bestätigt. An maßgebender Stelle bei uns hat man sich bisher energisch dagegen gewehrt, den Wünschen der Landwirte nachzugeben, wenn es sich um die Anlage genossenschaftlicher Drainagen handelte, bei welchen die staatlichen Meliorationsbehörden die Ausführungen zu überwachen haben. Nur in vereinzelten Fällen ist in neuester Zeit in schwerem Ton eine etwas geringere als die *vorschriftsmäßige* Tiefe, nämlich 1,15 bis 1,10 m, zugelassen worden. Man würde dies nicht gestattet haben, wenn man nach wie vor noch von der Unzweckmäßigkeit dieser geringeren Tiefe so fest überzeugt wäre. Daß sich aus dieser Abweichung von der Normaltiefe irgend welche Nachteile ergeben hätten, ist mir bisher nicht bekannt geworden. Ebensowenig konnte allerdings das Gegenteil infolge gänzlichen Mangels an Beobachtungen festgestellt werden.

Mögen nun einige Beispiele folgen zur Begründung meiner Behauptung, daß bei uns ebenso wie in England im Tonboden eine flachere Drainage den Vorzug verdient gegenüber der Tiefdrainage.

Ich bleibe zunächst in *Ostpreußen:* Hier ist die Vegetationsperiode im Verhältnis zu westlicher und südlicher gelegenen Provinzen bedeutend kürzer. Im Frühjahr macht sich dies ganz besonders fühlbar, weil mit der Bestellung gewöhnlich erst dann begonnen werden kann, wenn anderwärts die Saat schon längst aufgegangen ist. Es ist nichts Seltenes, daß noch Ende Mai oder Anfang Juni Hafer gesät wird, der allerdings auch im Oktober noch grün ist und überhaupt nicht reif wird. Für den ostpreußischen Landwirt ist es deshalb von allergrößter Bedeutung, daß er möglichst früh bestellen kann. Eine schnelle Abführung der Schneeschmelzwässer nach Eintritt der Tau-

periode und ein rasches Abtrocknen der Felder wird aber bei schwerem Boden nicht durch eine tiefliegende, sondern durch eine flachere Drainage bei richtiger Bemessung der Entfernung der Drains bewirkt. Infolge der großen Undurchlässigkeit des Bodens braucht das Wasser zu lange Zeit, bis es zu den tiefliegenden Röhren hingelangt.

Dafür sprechen folgende Beispiele:

In *Groß-Park*, zur Grafschaft Kilgis, Kreis Pr. Eylau gehörig, ist vor zwei Jahren im Tonboden eine genossenschaftliche Drainage mit 1,15 m Tiefe und 10 m Entfernung der Drains ausgeführt worden. Eine Wirkung ist schon deutlich beobachtet worden; trotzdem ist die Gutsverwaltung der Meinung, daß eine noch geringere Tiefe von 1 m besser sein würde.

Auf der Gräflich von Dankelmann'schen Herrschaft *Groß-Peterwitz*, Kreis Trebnitz in Schlesien wurde folgende Beobachtung[1]) gemacht: Der vor etwa 10 bis 15 Jahren in 12 m Entfernung und 1,20 bis 1,40 m Tiefe drainierte schwere Tonboden trocknete bei nasser Witterung niemals ab; das Wasser stand auf der Oberfläche. Eine Untersuchung der Drains ergab, daß sie ganz in Ordnung, aber vollständig trocken waren. Es wurde daraus gefolgert, daß die Röhren zu tief liegen. Die danach neu ausgeführten Drainagen erhielten deshalb nur 0,90 bis 1 m Tiefe und 6 bis 8 m Entfernung. Der Erfolg war ein vollkommener.

In *Oberschlesien* hat Gottwald[2]) beobachtet, daß die Drainage, die bei 10 m Entfernung 0,80 bis 0,90 m tief gelegt ist, schnell und tadellos wirkt und den Boden trocken hält, während sie bei 1,20 m Tiefe und 12 m Abstand immer später funktioniert und nasse Stellen auf dem Acker verbleiben.

In *Polnischdorf* in Schlesien[2]) konnte im Frühjahr sehr schwerer Boden nie rechtzeitig bestellt werden, trotzdem er drainiert war. Nur schwer konnte man sich dazu entschließen, Drains in geringerer Entfernung und Tiefe zu verlegen. Der Erfolg war der, daß der betreffende Schlag nach einigen Jahren immer zuerst bestellt werden konnte.

Luedecke[2]) vertritt ebenfalls die Ansicht, daß in schwerem Tonboden eine flacher liegende Drainage die wirksamere sei. Eine in Hannover ausgeführte Drainage von nur 0,80 m Tiefe hat sich nach seinen Angaben durchaus bewährt.

---

[1]) Nach Mitteilung des Herrn Oberinspektor Roemer-Groß-Peterwitz.

[2]) „Der Kulturtechniker". Jahrgang 1911. S. 1—3.

Auch Spöttle[1]) empfiehlt in schwerem Boden und rauhen Lagen mit kurzer Vegetationszeit eine seichtere Lage der Stränge (bis zu 1 m und weniger) bei geringerer Entfernung (9—10 m).

Endlich bestätigt auch Bagger,[2]) daß die in den nordwestdeutschen und Groning'schen Marschen, also auch in schwerem Boden, in den 1860er Jahren mit 0,75 bis 1 m Tiefe ausgeführten Drainagen nach Aussage der betreffenden Gutsbesitzer bis heute noch sehr gut funktionieren.

Es könnten noch mehr Beispiele aus neuester Zeit angeführt werden, welche ebenfalls bestätigen, daß in schwerem Boden sich eine Tiefe von 0,90 bis 1,10 m besser bewährt hat als eine solche von 1,25 m. Somit scheint mir der Beweis erbracht zu sein, daß im allgemeinen im Tonboden eine flachere Drainage durchaus gerechtfertigt ist.

Da wir indessen mit einer Frosttiefe von 1 m rechnen müssen und leider viele Drainröhren nicht absolut frostbeständig sind, so scheint es mir ratsam, an einer Minimaltiefe von 1 m festzuhalten.

Ich schlage demnach vor, die Tiefe zu bemessen:

in schwerstem Ton auf . . . . 1,00 m
in gewöhnlichem Tonboden auf . . . . . 1,10 „
in leichteren Böden . . . . 1,25 „

Dies schließt jedoch keineswegs aus, daß es Fälle geben kann, in denen abweichend hiervon eine größere Tiefe angebracht ist und sich auch bewährt hat.

So sagt Kopecky,[3]) daß in den drainagebedürftigen Böden der Kreideformation Böhmens, insbesondere im Plänerkalk, eine Tiefe von 1,30 bis 1,60 m sich bewährt hat.

Auf der Domäne *Brandschütz* bei Bresa, Regierungsbezirk Breslau, ist eine Drainage auf einem schweren schlickartigen Oderniederungsboden mit unterlagerter Sandschicht in 15 m Entfernung möglichst tief (1,30 m bis 1,40 m) ausgeführt worden, um die Röhren in die Sandschicht zu bringen. Die Wirkung ist recht „befriedigend“. Doch hat sich die Notwendigkeit ergeben, an einzelnen Stellen, die „besonders tief und schwer sind“ und wo die Drains kaum 1 m tief liegen, Zwischenstränge auf 7,50 m Entfernung zu legen.[4])

Es könnte nun noch eingewendet werden, daß bei der von mir angegebenen Minimaltiefe von 1 m in schwerstem Tonboden die Gefahr des Zuwachsens der Röhren durch Pflanzenwurzeln eine wesentlich

---

[1]) Spöttle: Handbuch der Ing.-Wiss. III. Abschn. 7. Bd. Leipzig 1907. S. 133.

[2]) Kulturtechniker: Jahrg. 1909. S. 303.

[3]) Schewior: Wasser- und Wegebauzeitschrift, Hannover. Jahrg. 1910. S. 45.

[4]) Nach Mitteilung des H. Rittergutsbes. Frey-Brandschütz.

größere sei, als bei tieferer Lage der Röhren. Das ist jedoch m. E. nicht zu befürchten, da im allgemeinen bei so schwerem Ton die Wurzeln nicht so tief in den Boden einzudringen pflegen. Trotzdem ist es bei jeder Drainage empfehlenswert, in den ersten Jahren nach der Ausführung besonders tief wurzelnde Pflanzen, wie Zuckerrüben, Klee usw. nicht zu bauen.

Im übrigen wird bei der in England üblichen sehr flachen Drainage besonders hervorgehoben, daß die Röhren nur äußerst selten durch Wurzeln verstopft werden.[1])

Es ist sehr erfreulich, daß man in *Württemberg*[2]) mit Versuchen begonnen hat, die uns voraussichtlich über die zweckmäßigste Tiefenlage der Drains noch genaueren Aufschluß geben werden. Durchaus wünschenswert wäre es, wenn auch in Preußen, wo alljährlich Millionen für Drainagen ausgegeben werden, Mittel für exakte Untersuchungen nach dieser Richtung bereit gestellt werden möchten.

---

3. Die Entfernung der Drains.

Wenn ich nun zur Erörterung über die zweckmäßigste Entfernung der Drains übergehe, so will ich zunächst einen Überblick geben über die in den einzelnen Gegenden Deutschlands und im Ausland aufgestellten und zum Teil noch heute gültigen Regeln und dieselben einer kurzen Betrachtung unterziehen.

Vincent, dem wir die ersten Mitteilungen über in Deutschland ausgeführte Drainagen verdanken, hat (im Jahre 1852) für gewöhnlichen Lehmboden eine Entfernung gleich der 12fachen Tiefe, steigend bei leichterem Boden bis zur 25fachen Tiefe, und nur bei ganz schwerem Ton eine geringere Entfernung angewandt. Bei einer Tiefe von 1,25 m ergibt dies eine Entfernung von 15 bis 31 m für mittleren bis leichten Boden.

Saatz[3]) stellte im Jahre 1883 folgende Skala für dieselbe Normaltiefe von 1,25 m auf:

für schwerste Tonböden . . . . 10—12 m
für tonig-lehmige Böden . . . . 12—16 m
für sandig-lehmige Böden . . . . 16—20 m
für sandige Böden . . . . 20, 24—30 m

[1]) M. de Ville-Chabrolle: Contributions à l'étude des propriétés des terres. S. 36.
[2]) Fauser: „Kulturtechniker“. Jahrg. 1910. S. 310. usw.
[3]) Kopecky: Die Bodenuntersuchung zum Zwecke der Drainagearbeiten. Prag 1901.

Im Jahre 1897 wurden für die *Schweiz* von einer dazu ernannten Kommission die Entfernungen der Drains bei einer Tiefe von 1,50 m festgesetzt:

für schwere Tonböden auf	10—12 m
für schwere Lehmböden auf	15 m
für leichte Lehmböden (tonig-sandige oder sandig-tonige) auf	18—20 m
für Böden von sonst sehr günstigen wasserleitenden Verhältnissen bis zu	25 m

John[1]) schlägt bei 1,25 m Tiefe folgende Skala für die Drainabstände vor:

Sehr schwerer Ton	7,5 m
gewöhnlicher Ton	9,5 m
schwerer Lehm	11,3 m
mittlerer Lehm	15 m
sandiger Lehm	18,8 m
Sandboden	25—36 m

Für *Preußen* gelten die amtlichen Bestimmungen der sogenannten „Schlesischen Anweisung"[2]) von 1911, welche bei einer Normaltiefe von 1,25 m vorschreibt:

in schwerstem Tonboden	10—12 m
in schwerstem Lehmboden	12—14 m
in gewöhnlichem Lehm mit Steinen .	14—16 m
in sandigem Lehmboden	16—20 m
in lehmigem Sandboden	20—24 m
in mildem Sandboden	24—30 m

Ergänzend hierzu sagt diese Anweisung weiter:

> „Schliefsand d. h. ganz feiner wasserhaltender Sand und stark eisenschüssiger Boden erfordern eine kleine Strangentfernung, welche in jedem Falle besonders festzusetzen ist. Bei stärkerer Neigung des Geländes und schräg zum Hang gerichteten Saugern können obige Maße bis zu 20% vergrößert werden."

Viel feinere Unterschiede in der Bezeichnung und Abstufung der einzelnen Bodenarten macht die nachfolgende Tabelle der vom

---

[1]) Friedrich: Kulturtechnischer Wasserbau. Berlin 1907. I. S. 300.

[2]) Anweisung für die Aufstellung und Ausführung von Drainage-Entwürfen. Berlin 1911. (Die früheren Auflagen stammen aus den Jahren 1857, 1884, 1893 und 1899.)

„General Board of Health“ in London[1]) angenommenen Entfernungen und Tiefen der Drains:

Natur des Bodens	Entfernung der Drains in m	Tiefe der Drains in m
1. Sehr dichte oder schwere Böden:		
Zäher, sehr kompakter Ton	4,57	0,76
schwerer Ton	5,03	
lockerer Ton (argile friable)	5,49	0,84
milder Ton	6,40	
2. Mittelböden:		
Toniger Lehmboden	6,71	0,915
mergeliger Lehm	7,32	
grandiger Lehm	8,23	0,99
lockerer (leichter) Lehm	9,15	
3. Leichte Böden:		
Grandiger leichter Lehm	10,06	1,067
mergeliger leichter Lehm	10,98	1,14
kieselerdehaltiger Lehm	11,89	
sehr leichter Lehm	12,81	1,22
Sandboden	13,72	
etwas grandiger Sand	15,10	1,30
sehr grandiger Sand	16,78	
grober Sand	18,30	1,37
sehr grober Sand	20,13	

In *Jütland*[2]) wird die Entfernung der Drains bei geneigtem Gelände durch Vertikalmessung bestimmt, indem gewöhnlich für je drei Fuß Gefälle des Geländes ein Rohrstrang gelegt wird.

In den *russischen Ostseeprovinzen*[3]) wendete man dasselbe Verfahren an, indem die Drains auf 0,75 m Vertikalabstand gelegt wurden. Diese Methode hat sich indessen als unzulänglich erwiesen, so daß jetzt vielfach eine Kombination derselben mit der systematischen Drainage (sogenannte ökonomische Drainage) in Anwendung kommt.

---

[1]) M. de Ville-Chabrolle: Contributions pp. S. 34.

[2]) Bagger: Kulturtechniker. Jahrg. 1909. S. 304.

[3]) Johansen: Kulturtechniker Jahrg. 1907. S. 245 ff.

Alle diese Vorschläge und Vorschriften, mögen sie noch so sorgfältig spezifiziert sein, haben den großen Fehler, daß sie nicht auf wissenschaftlicher Grundlage beruhen, sondern daß sie auf Grund einer rein äußerlichen Beurteilung des Bodens aufgestellt sind. Daß je nach der persönlichen Auffassung die Beurteilung sehr verschieden ausfallen kann, daß es auch sehr schwer ist, ohne physikalische oder mechanische Untersuchung zu entscheiden, ob ein Boden „sandiger Lehm“ oder „lehmiger Sand“, „mittlerer“ oder „schwerer Lehm“, „gewöhnlicher“ oder „schwerer Ton“ ist, das bedarf kaum besonderer Betonung. Wenn man sich aber für das eine oder andere entscheidet und die Entfernung einer Drainage beispielsweise zu 16 oder 20 m bestimmt, so bedeutet dies in finanzieller Hinsicht einen so fühlbaren Unterschied, daß bei dem andauernden Steigen der Material- und Arbeitspreise eine exaktere, auf zuverlässigen Bodenuntersuchungen basierende Bestimmung der Drainentfernung als äußerst wünschenswert und notwendig erscheint.

Wie sehr die Meinungen in der Beurteilung des Bodens nach der bis jetzt in Preußen üblichen Methode auseinandergehen, will ich nur an einem Beispiel aus der Praxis beweisen:

In einem Drainageentwurf war die Strangentfernung zu 16 m angenommen worden. Der Projektverfasser erhielt das Projekt von der vorgesetzten Behörde zurück mit der Aufforderung, dasselbe umzuarbeiten, da an Stelle von 16 m eine solche von 12 m erforderlich sei. Der Verfasser verlangte jedoch zunächst noch eine Prüfung durch die nächst höhere Instanz. Dieselbe bestimmte alsdann, daß nicht 16, noch viel weniger 12 m, sondern 18 m Entfernung die richtige sei.

Das sind also drei vollständig divergierende Meinungen! Würde man noch mehr Sachverständige gefragt haben, so würden wahrscheinlich noch alle übrigen zwischen 12 und 20 liegenden Zahlen als die richtige Entfernung bezeichnet worden sein.

Dazu kommt noch, daß leider häufig die Bodenuntersuchungen, wenn man diese Bezeichnung für die jetzige Methode überhaupt anwenden darf, in Verkennung ihrer Bedeutung nicht einmal mit der nötigen Sorgfalt ausgeführt werden. Auch hierzu nur ein Beispiel: Vor einigen Jahren hatte Verfasser ein von anderer Seite aufgestelltes Drainageprojekt auszuführen, in welchem durchweg für ein zusammenhängendes Gebiet von etwa 600 ha eine Drainentfernung von 14 m vorgesehen war. Bei der Ausführung stellte es sich heraus, daß die Bodenbeschaffenheit sehr stark wechselte, so daß die gewählte Entfernung an vielen Stellen unzutreffend war.

Diese Beispiele dürften genügen, um den Beweis erbracht zu haben, daß die jetzige bei uns übliche Methode durchaus unzulänglich und auf die Dauer unhaltbar ist.

Waege[1]) gebührt das Verdienst, zuerst den Versuch gemacht zu haben, durch Bestimmung der abschlämmbaren Teile eines Bodens einen sicheren Anhalt für die zweckmäßigste Entfernung der Drains zu gewinnen. Er stellte auf Grund seiner Untersuchungsresultate folgende Skala auf für eine Tiefe von 1,25 m:

	abschlämmbare Teile %	Entfernung m
für Tonboden	über 50	9,5 — 11,3
„ „ im Gebirge . . .	„ 50	7,5 — 9,5
„ Lehmboden	20 — 30	11,3 — 18
„ lehmigen Sandboden . . .	10 — 20	18 — 22,5
„ grobkörnigen Sand	unter 10	22,5 — 36

Wesentlich weichen hiervon die neueren und neuesten Entfernungsskalen ab, die ebenfalls auf Grund von Schlämmanalysen aufgestellt worden sind. Zunächst möge die Tabelle von Gerhardt[2]) folgen, die auch die Neigung des Geländes berücksichtigt. Für stärker geneigtes Gelände hält Gerhardt analog mit Merl[3]) bei sonst gleicher Bodenbeschaffenheit eine größere Entfernung für zulässig als bei ebenem Gelände.

Bodenart	Abschlämmbare Teile %	in flachen Lagen bis 1 : 270 (Längsdrainage) m	Bemerkung	In stärker geneigtem Gelände über 1 : 270 (Querdrainage) bei geringerer bis stärkerer Neigung	Bemerkung
in strengem Tonboden	über 75	8 — 10	Erweiterung zulässig beim Vorkommen natürlicher Drainage	8 — 12	Entfernung zunehmend mit der natürlichen Drainage, außerdem mit der Neigung des Geländes bis zu der Grenze, bei der die lotrechte Entfernung 0,5 betragen würde; doch selten weniger als 12 m, nie weniger als 8 m, selbst im stärksten Hang
„ gewöhnlichem „	75 — 50	10 — 12		10 — 15	
„ schwerem Lehmboden	50 — 40	12 — 14		12 — 18	
„ gewöhnlichem „	40 — 30	14 — 16		14 — 21	
„ sandigem „	30 — 20	16 — 20		17 — 25	
„ lehmigem Sandboden	20 — 10	20 — 24		21 — 30	
„ mildem „	10 — 5	24 — 30		25 — 35	

[1]) Perels: Die Trockenlegung versumpfter Ländereien. Berlin 1874. S. 72.
[2]) Vogler: Grundlehren der Kulturtechnik. Berlin 1898. I. S. 554.
[3]) Merl: Neue Theorie der Bodenentwässerung. Ansbach 1890. S. 29.

Die von KOPECKY[1]) angestellte Untersuchung drainierter Böden in Böhmen führte zu dem Ergebnis, daß der Gehalt des Bodens an abschlämmbaren Teilen allein keinen sicheren Anhalt zur Bestimmung der Drainentfernung gebe, sondern daß die Bindigkeit des Bodens viel besser in dem Gehalt an tonigen Teilen als in der Menge der abschlämmbaren Teile zum Ausdruck komme. KOPECKY ermittelte deshalb neben den abschlämmbaren Teilen auch noch besonders die Menge der tonigen Bestandteile (unter 0,002 mm Korngröße) und stellte dann nachstehende Skalen[2]) auf, welche auch von Oberbaurat CANZ für Württemberg angenommen und den dortigen Verhältnissen angepaßt wurde.[3])

Bezeichnung des Bodens	Abschlämmbare Teile < 0,01 mm %	Tonteilchen < 0,002 mm %	Entfernung der Drains m	Verhältnis der Entfernung zur Tiefe e : t; t = 1,30 m 1 :
Schwerer Ton und Letten	> 70	> 55	8 — 9	7
Feinsandiger Ton	70 — 55	55 — 40	9 — 10	7,5
Sandig-lehmiger Ton . .	55 — 40	40 — 25	10 — 12	7,5 — 9
Fester Lehmboden . . .	40 — 30	25 — 15	12 — 14	9 — 10,5
Sandiger Lehmboden . .	30 — 20	15 — 7	14 — 16	10,5 — 12
Lehmiger Sandboden . .	20 — 10	7 — 2	16 — 18	12 — 14
Schwachlehmiger Sand .	< 10	< 2	18 — 20	14 — 15,5

Um die großen Abweichungen der Angaben von KOPECKY und GERHARDT besser zu veranschaulichen, habe ich dieselben nachstehend graphisch dargestellt (s. S. 16).

KOPECKY hält jedoch die Bestimmung der Tonteile nur in besonders wichtigen Fällen für erforderlich, indem er ausführt:[3]) „In wichtigen Fällen wird es angezeigt sein, durch die mechanische Analyse nicht nur die feinen abschlämmbaren Teile, sondern auch den tonigen Inhalt der Erdart auf physikalisch-chemischem Wege zu konstatieren und durch Kombination beider Skalen die Entfernung der Saugdrains zu bestimmen.“ Für alle gewöhnlichen Fälle hält er die mechanische Analyse für vollständig ausreichend. Er erklärt:[4]) „Da

[1]) KOPECKY: Die Bodenuntersuchung zum Zwecke der Drainagearbeiten. Prag 1901, S. 17 ff.

[2]) Die beiden Skalen der abschlämmbaren und der tonigen Teilchen sind hier vereinigt worden.

[3]) KRÜGER: Jahrbuch der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft. Bd. 25. 1910. S. 121.

[3]) KOPECKY: Die Bodenuntersuchung etc. S. 21.

[4]) KOPECKY: Die Bodenuntersuchung etc. S. 19 und 20.

die Bestimmung des Tongehalts keine einfache ist und eine erhebliche Arbeit im Laboratorium erfordert pp. . . . so können wir uns bei dem

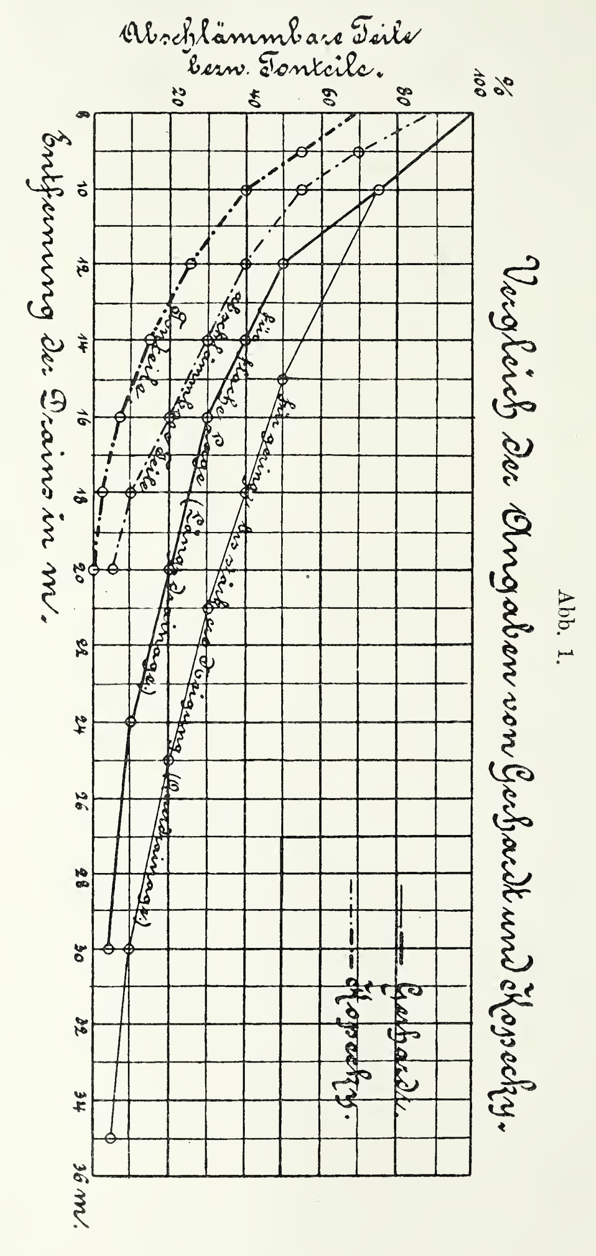


Abb. 1.

derzeitigen Stand des praktischen Bedürfnisses mit der Feststellung der Angabe der mechanischen Analyse zufrieden stellen.“



Jedoch ist damit nicht allein die Menge der abschlämmbaren Teile gemeint, sondern es sollen auch die gröberen Bodenteile von 0,01 bis 0,05 und der Sand über 0,1 mm Korndurchmesser festgestellt und berücksichtigt werden. Eine objektive Beurteilung des Einflusses oder der Bedeutung der weiteren Korngrößen dürfte dabei m. E. ganz unmöglich sein.

Während also KOPECKY einerseits die Unzulänglichkeit der Bestimmung des Gehalts an abschlämmbaren Teilen ausspricht und durch Beispiele zahlenmäßig belegt, so scheint ihm anderseits das Ergebnis der mechanischen Analyse trotzdem sicher genug, um dies als Grundlage für die Bestimmung der Entfernung der Drains gelten lassen zu können.

Dieser Widerspruch scheint doch zum mindesten bedenklich; und diese Bedenken, ob die mechanische Bodenanalyse überhaupt zuverlässig genug ist, um auf Grund ihrer Ergebnisse sichere Schlüsse auf die Bindigkeit und Durchlässigkeit des Bodens, auf die es hier wesentlich ankommt, ziehen zu können, werden auch durch die Untersuchungen SPÖTTLES vollkommen bestätigt.[1]) SPÖTTLE ließ eine große Anzahl drainierter Böden aus allen Formationen Bayerns schlämmanalysisch untersuchen, ohne aus den Ergebnissen der Schlämmanalyse ein Gesetz hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Teilen und der Strangentfernung ableiten zu können.

Später ausgeführte Untersuchungen der Wasser- und Luftkapazität des Bodens brachten KOPECKY zu der Überzeugung, daß der Luftgehalt im Boden auf die Entwickelung der Kulturpflanzen von größter Bedeutung ist. Er definiert die Luftkapazität als die Differenz zwischen dem Gesamtinhalt der Bodenzwischenräume — Poren — und dem Werte der absoluten Wasserkapazität dem Volumen nach. Wenn man also die Porosität mit P bezeichnet, die Wasserkapazität mit H und die Luftkapazität mit C, so ist $P = H + C$ und $C = P - H$.

Für KOPECKY ist nun neben den Ergebnissen der mechanischen Bodenanalyse die Feststellung dieser Luftkapazität bei größter Wasserkapazität des Bodens für den Charakter des Bodens von ausschlaggebender Bedeutung. Er beurteilt danach z. B. auch, ob ein Boden drainagebedürftig ist oder nicht, wie die nachstehende Tabelle zeigt.[2])

---

[1]) SPÖTTLE: Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften. Leipzig 1907. Bd. VII. S. 134.

[2]) KOPECKY: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Prag 1904. S. 41 ff.

	Ackergründe							Wiesengründe		
								Lehmig-tonige Böden		
	Fetter undurchlässiger Ton	Tonig-lehmiger Boden	Toniger diluvialer Lehmboden	Festgelagerter diluvialer Lehm	Sehr feinsandiger Lehm (mittelmäß. fest gelagert	Lockerer diluvialer Lehm	Lockerer feinsandiger Lehm	Süße Gräser	Gutes Gras mit schwacher Moosunterlage	Vorwiegend saure Gräser
Feine abschlämmbare Teile, Korngröße unter 0,01 mm . . . . %	86,68	67,24	53,36	46,48	48,44	42,64	39,64	54,16	53,38	52,28
Staub, Korngröße zwischen 0,01 mm und 0,05 mm . . . . %	11,04	25,76	43,08	43,04	17,76	48,12	37,08	28,48	28,02	30,56
Staubsand, Korngröße zwischen 0.05 mm und 0,1 mm . . . . %	1,56	2,44	2,88	7,08	14,68	6,40	4,76	7,64	12,00	5,76
Sand, Korngröße über 0,1 mm . . . %	0,88	4,56	0,68	3,40	19,12	2,84	18,52	9,72	6,60	11,40
Wasserkapazität dem Volumen nach . %	47,60	41,10	33,90	34,90	39,30	37.10	34,60	40,20	46,00	46,80
Wasserkapazität dem Gewichte nach . %	37,00	29,40	21,60	22,10	29,40	28,80	25,00	32,20	39,90	36,20
Spezifisches Gewicht scheinbares	1,34	1,34	1,54	1,52	1,29	1,26	1,34	1,26	1,18	1,25
Spezifisches Gewicht wirkliches	2,58	2,49	2,60	2,60	2,55	2,51	2,65	2,58	2,56	2,51
Porosität . . . . %	48,00	46,10	40,70	41,40	49,30	49,30	49,50	51,00	53,90	50,20
Luftkapazität . . . . %	0,40	5,00	6,80	6,50	10,00	12,40	14,70	10,80	7,90	3,40
Notwendigkeit einer Melioration bezw. einer Drainage	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	ja

Nach dieser Theorie müßte man annehmen, daß die Luftkapazität in einem drainierten Boden nach mehrjähriger Wirksamkeit der Drainage unbedingt zunehmen müsse. Die nach dieser Richtung hin von Baurat FAUSER-Ellwangen angestellten neuesten Versuche scheinen uns hierüber Aufschluß zu geben. Die Ergebnisse[1]) sollen deshalb hier aufgeführt werden.

FAUSER entnahm zu seinen Untersuchungen seitwärts von zwei verschiedenen Drainsträngen, von ausgewählter Stelle, in Abständen von 1,50, 3,50 und 6 m vom Drainstrang, je eine Probe der oberen Bodenschicht (etwa 0,30 m tief) und des Untergrundes (etwa 0,60 bis 0,70 m tief). Die Entfernung der Drains betrug 12 m. Die Proben I und IV liegen in 1,50 m, II und V in 3,50 m und III und VI in 6 m Abstand vom Drainrohr, also in der Mitte zweier benachbarter Drains. Ferner sind die von oben genommenen Proben mit a, die Untergrundproben mit b bezeichnet. Die Probe VII ist sodann seitwärts von nicht drainiertem Boden entnommen, der aber sonst die gleiche mechanische und physikalische Beschaffenheit aufweist, wie der drainierte Boden. Die Drainage ist vor 16 Jahren ausgeführt; der Boden ist ein schwerer Liaston der Juraformation.

Nr. der Probe	Entnahmetiefe	Mechanische Analyse Prozentsatz der Körnungs-Produkte				Kohlensaurer Kalk	Physikalische Analyse				
		I. unter 0,01 mm	II. 0,01 bis 0,05 mm	III. 0,05 bis 0,1 mm	IV. 0,1 bis 3,0 mm		Spezifisches Gewicht	Volumgewicht	Porenvolumen	Wasser-kapazität	Luftkapazität
	m					%					
I a	0,30	44,0	18,1	6,0	31,9	0	2,67	1,48	44,7	36,9	7,8
b	0,65	81,9	17,4	0,6	0,1	0	2,77	1,52	45,0	46,8	— 1,8
II a	0,30	59,7	21,4	3,8	15,1	0	2,69	1,27	52.8	43,8	9,0
b	0,62	80,8	18,6	0,4	0,2	0	2,77	1,55	44,0	44,8	— 0,8
III a	0,30	67,6	19,2	3,4	9,8	0	2,69	1,22	54,7	46,8	7,9
b	0.63	81,4	17,6	0,8	0,2	0	2,78	1,52	45,5	47,9	— 2,4
IV a	0,35	73,7	14,9	1,3	10,1	0	2,75	1,43	48,1	42,0	6,1
b	0,70	81,2	17,1	1,0	0,7	0	2,77	1,49	46,2	47,9	— 1,7
V a	0,30	55,8	16,6	3,5	24,1	0	2,72	1,50	44,9	37,7	7,2
b	0,70	82,1	16,6	1,0	0,3	0	2,73	1,49	45,5	47,5	— 2,0
VI a	0,30	76,9	13,9	1,0	8,2	0	2,72	1,44	47,2	41,2	6,0
b	0.70	82,1	16,3	1,0	0,6	0	2,79	1,52	45,4	45,5	— 0,1
VII a	0,45	77,6	19,2	1,3	1,9	0	2,77	1,52	45,2	44.1	1,1
b	0,90	81,2	17,8	0,6	0,4	0	2,76	1,54	44,2	44,3	— 0,1

[1]) FAUSER: „Der Kulturtechniker“. Breslau. 1910. S. 184.

Die Proben der oberen Schicht weisen hinsichtlich ihrer mechanischen Zusammensetzung vielfach erhebliche Verschiedenheiten auf, während der Untergrund durchaus gleichartig ist.

Man hätte nun erwarten sollen, daß nach der von Kopecky vertretenen Anschauung in dem 16 jährigen Zeitraum die Drainage eine von den Drains ausgehende bis in die tiefer liegenden Bodenschichten reichende Auflockerung und eine merkliche Vermehrung der Luftkapazität bewirkt habe. Die Untersuchung aber hat für eine solche Wirkung durchaus keine Anhaltspunkte ergeben. Wohl ist in den oberen Bodenschichten eine Zunahme der Luftkapazität zu verzeichnen, doch schreibt Fauser — wohl mit Recht — diese Veränderung des Bodens der infolge der Drainage ermöglichten tieferen Bearbeitung des Bodens und dem tieferen Eindringen der Pflanzenwurzeln zu. Der Untergrund zeigt genau dieselbe — oder vielmehr eine negative — Luftkapazität bei dem drainierten sowohl als auch bei dem undrainierten Boden. (Die Möglichkeit der negativen Luftkapazität erklärt Kopecky mit der Quellung des Tones.)

Auf Grund dieser Tatsachen erscheint es mindestens zweifelhaft, ob der Luftkapazität die Bedeutung beizumessen ist, wie Kopecky annimmt, und ob ihre Theorie für schwere Tonböden überhaupt zutreffend ist.

Auch E. A. Mitscherlich hat bereits nachgewiesen[1]), daß die Luftkapazität in ein und demselben Boden eine ständig wechselnde Größe ist. Darauf kostspielige kulturtechnische Maßnahmen gründen zu wollen, scheint mir deshalb ein gewagtes Unternehmen zu sein.

Die vorhergehenden Ausführungen zeigen also, daß die mechanische Bodenanalyse keine zuverlässigen Anhaltspunkte für die Bestimmung der Entfernung der Drains geben kann, und daß auch die Kenntnis der Luftkapazität nicht imstande ist, die Beurteilung des Bodens ausreichend zu ergänzen.

Bezüglich der bisher üblichen mechanischen Bodenanalyse, mittels welcher der Boden nach der Sieb- und Schlämmethode in seine Einzelbestandteile getrennt wird, haben ferner Mitscherlich u. a. nachgewiesen[2]), daß sie für die genaue Bestimmung der Korngrößen überhaupt unbrauchbar ist, indem nach seinen Untersuchungen die in gleicher Weise abgesiebten Körner um 100 und mehr Prozent in ihrer Größe variierten. Dies ist ganz allein auf die äußere Form der einzelnen Körner zurückzuführen. Durch dieselbe Sieböffnung, beispielsweise von 2 mm Durchmesser, wird sowohl ein rundes Korn als auch

---

1) E. A. Mitscherlich: Bodenkunde für Land- und Forstwirte. Berlin 1905. S. 228.

2) Mitscherlich: Bodenkunde. S. 37 ff.

ein meterlanges Drahtstück hindurchgehen können. Da aber die Form der Körner in den meisten Bodenarten sehr voneinander abweicht, so müssen auch die Siebresultate ebenso erhebliche Verschiedenheiten in der Korngröße aufweisen. Dies ist auch in der Tat der Fall.

Bei der Schlämmethode kommen — selbst wenn man an einem einzigen der unzählbaren verschiedenen Apparate festhalten wollte — ähnliche Faktoren in Betracht. Die Fallgeschwindigkeit der Bodenkörner im Wasser hängt keineswegs allein von dem Volumen, sondern ebenso sehr von dem spezifischen Gewicht, von der Form und der Lage des Schwerpunktes im Bodenteilchen u. a. m. ab. Ein Korn von runder Form wird z. B bei gleichem Volumen und spezifischem Gewicht eine ganz andere Fallgeschwindigkeit aufweisen als ein flaches Korn; und dieses wird wieder viel schneller den Boden des Schlämmgefäßes erreichen, wenn es hochkantig anstatt in flacher Fallage im Wasser abwärts fällt. Diese Tatsachen sind ohne weiteres einleuchtend und erklären auch die großen Differenzen, die bei der Schlämmanalyse mehrerer Proben desselben Bodens stets beobachtet werden. Es ist deshalb schwer verständlich, daß nach wie vor die mechanische Bodenanalyse so viel Anhänger und eifrige Verfechter aufzuweisen hat, obwohl alle Anstrengungen, sie praktisch zu verwerten, bis jetzt keine positiven Resultate gebracht haben.

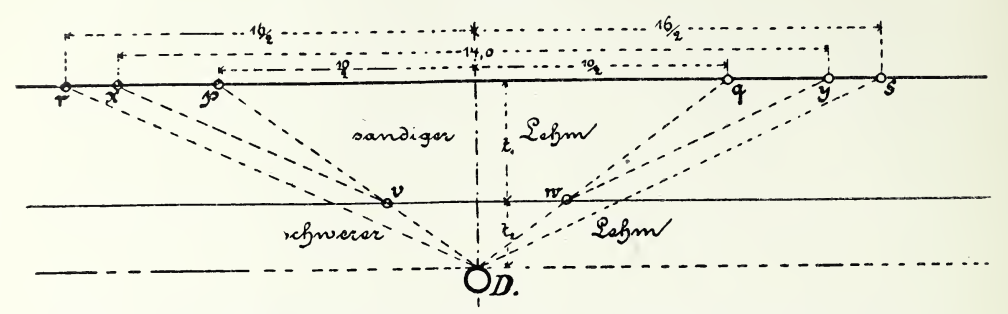
Alle bisher besprochenen Methoden zur Bestimmung der Entfernung der Drains gehen von der Voraussetzung aus, daß es sich in den verschiedenen Tiefen um durchweg gleichmäßig gearteten Boden handelt. Wenn dies auch meistens zutreffend ist — wenigstens bis zu der Tiefe, welche bei der Drainage in Betracht kommt — so kommen doch auch Fälle vor, in welchen der Boden sich aus einzelnen Schichten von verschiedener Durchlässigkeit zusammensetzt. Um solchen Verhältnissen gerecht zu werden, hat Blauth[1]) ein graphisches Verfahren angegeben. In Abb. 2 bedeutet t_1 und t_2 die Stärke der beiden Schichten; in der Tiefe $t_1 + t_2$ befindet sich bei D das Drainrohr.

Würde nun für die obere Bodenschicht eine Strangentfernung von 16 m und für die untere eine solche von 10 m erforderlich sein, so mißt Blauth die Punkte p und q sowie r und s von der senkrechten Drainrohraxe mit $\frac{10}{2}$ bezw. $\frac{16}{2}$ m nach beiden Seiten ab und verbindet die Punkte mit D. Eine Parallele von den Schnittpunkten v und w zu Dr und Ds gezogen ergibt zwischen x und y die gesuchte mittlere Entfernung der Drains.

[1]) Friedrich: Kulturtechnischer Wasserbau. Berlin 1907. I. S. 301.

Inwieweit diese Methode einen Anspruch auf Berechtigung hat, will ich dahin gestellt sein lassen. Jedenfalls ist dazu ebenso wie bei

Abb. 2



allen anderen Methoden zunächst eine zuverlässige Bestimmung der Drainentfernung für die beiden Bodenschichten erforderlich, um daraus dann nach obigem Verfahren das Endresultat abzuleiten.

---

4. Versuche über die Durchlässigkeit drainierter Böden.

Im Anschluß an die im nächsten Abschnitt zu besprechenden Untersuchungen der *Hygroskopizität* drainierter Böden wurden auch Versuche über die Wasserdurchlässigkeit derselben Bodenproben gemacht, deren Ergebnisse jenen noch vorangestellt werden sollen.

a) Die Bodenproben.

Es sind im ganzen Bodenproben von 45 drainierten Ackerschlägen untersucht worden. Die Proben 1 bis 40 sind ostpreußischen Ursprungs, während die Proben 41 bis 45 besonders schwere Tonböden sind, die mir auf meinen Wunsch in dankenswerter Weise aus Cadinen, Schlesien und Württemberg übermittelt wurden.

Da wir es bei den ostpreußischen Böden durchweg mit diluvialen Ablagerungen zu tun haben, die gewöhnlich hinsichtlich ihrer mechanischen Zusammensetzung sehr stark wechseln, so kam es bei der Probeentnahme darauf an, von einem Schlag, der mit einer bestimmten Saugerentfernung drainiert ist, eine Durchschnittsprobe zu erhalten. Würde man bei diesen Bodenverhältnissen, wie Kopecky es für richtig hält, *eine* typische Stelle aufsuchen, von dieser eine *einzige* Probe entnehmen und nach deren Beschaffenheit den Boden der ganzen Feldflur beurteilen, so würde man zu einem ganz unzutreffenden Bilde gelangen. Diese Methode ist nur zulässig bei einigermaßen gleichmäßig geartetem Boden und kann natürlich auch nur in solchen Fällen zur Anwendung kommen.

Von den diluvialen Böden 1 bis 40 sind deshalb mittels des bekannten Gerson'schen Bohrers[1]) in gleichem Abstande je 40 Proben entnommen und zwar vom Mutterboden bis 0,30 m Tiefe und vom Untergrund von 0,50 bis 1 m Tiefe besonders. Diese 40 Proben wurden dann zu einer Durchschnittsprobe (etwa 1½ kg) vereinigt und später sorgfältig gemischt.

Die Entnahme von Einzelproben hätte vielleicht für die beabsichtigten Untersuchungen dann den Vorzug verdient, wenn es möglich gewesen wäre, genau dieselben Stellen wieder aufzufinden, an denen seinerzeit die Proben für den Drainageentwurf erbohrt worden sind. Dies versprach jedoch nur geringe Zuverlässigkeit, da einerseits die alten Projektkarten nur von einzelnen Gemarkungen zur Verfügung standen, auch die Bohrstellen nicht mit absoluter Genauigkeit in die Karten eingetragen und schließlich von der großen Anzahl der Bohrstellen nur einzelne typische Bodenprofile angegeben zu werden pflegen.

Nachstehend (s. S. 24 ff.) sind die Bodenproben nach ihrer Herkunft unter Angabe der Drainentfernung, welche bei jedem einzelnen zur Anwendung kam, aufgeführt worden. Wo es das Gefälle gestattete, ist bei allen Böden die Querdrainage angewandt worden mit Ausnahme des Bodens Nr. 41 (Ellwangen).

b) Die Durchlässigkeitsversuche.

Die Durchlässigkeitsuntersuchungen wurden hauptsächlich aus dem Grunde ausgeführt, weil ich eine gewisse Analogie mit den Ergebnissen der Hygroskopizitätsbestimmung zu erhalten gehofft hatte. Diese Erwartung wurde indessen nicht erfüllt. Doch sind die Resultate dieser Versuche insofern von Interesse, als sich dabei einige bemerkenswerte Eigentümlichkeiten des Bodens ergeben haben.

Der Boden wurde zunächst durch ein 1½ mm weites Sieb abgesiebt, um einzelne Steinchen zu entfernen, welche besonders die Resultate der Hygroskopizität beeinflußt haben würden. Doch auch für die Durchlässigkeitsversuche schien die Entfernung der Steine erforderlich, da sie in so kleinen Bodenmengen sich schwer gleichmäßig verteilen lassen. Dadurch würden aber für die Parallelversuche von

---

[1]) Für die Vornahme der Bohrungen eignet sich der Gerson'sche Bohrer am besten; allerdings bedarf er dazu einer Umgestaltung. Es stellte sich nämlich bei der Probeentnahme sehr bald heraus, daß der Bohrer in seiner jetzigen Form für das Herausholen der Untergrundprobe bis 1 m und mehr Tiefe ungeeignet ist. Ohne Benutzung eines schweren Hammers ist dies nur in seltenen Fällen möglich. Dazu muß der Kopf des Bohrers so gestaltet sein, daß er, wie ein Handbohrer des Bergmanns, jederzeit neu zugeschmiedet werden kann, wenn er sich durch das Aufschlagen deformiert hat.

Nr. der Probe	Herkunft der Bodenproben. Gemarkung. Kreis. Provinz	Besondere Merkmale des Bodens, der Lage usw. Sonstige Bemerkungen	Entfernung der Drainage m
1	Gemarkung Linkehnen, Genossenschaft Gauleden, Kreis Wehlau	Sandiger Lehm, an einzelnen Stellen Lehm im Untergrund	14
2	desgl.	Boden wechselt auf kurze Entfernung von schwerstem Lehm bis lehmigem Sand	15
3	Gemarkung Lischkau, Genossenschaft Keylau, Kreis Wehlau	Sandiger Lehm	17
4	desgl.	desgl.	16
5	Gemarkung Altwalde, Kreis Wehlau (Gelände der Fürsorgeanstalt)	Sandboden, der durch Druckwasser naß gehalten wird. Drainage in Ausführung begriffen	26
6	daselbst	Boden dem vorigen ähnlich jedoch stellenweise fest, im Untergrund steinig	24
7	Oberalkehnen, Kreis Fischhausen	Boden wechselnd, meist leicht. Tiefliegendes Gelände, vor der Drainage sehr naß, daran angrenzend moorige Wiese	14
8	desgl.	Schwerer Lehm an der Stelle, wo für die Drainage die Probe entnommen ist; in der Umgebung leichterer Boden	12
9	desgl.	Sandiger Lehm bis lehmiger Sand, sehr wechselnd	16
10	desgl.	Lehmiger Sand	18
11	Angrenzende Gemarkung Fuchsberg	Lehmiger Sand, im Untergrund sandiger Lehm. Gewählte Entfernung zu groß	20
12	Rosignaiten, Genossenschaft Waldhausen, Kreis Fischhausen	Schwerer Lehm	12
13	daselbst	Sandiger Lehm	17
14	daselbst	Lehmiger Sandboden	18
15	daselbst	Lehmboden	14
16	Glückshöfen, Kreis Labiau	Sandiger Lehm. Boden wechselt, im Untergrund stellenweise Lehm	18
17	daselbst	Sehr stark wechselnder Boden	17
18	daselbst	Boden durchweg schwerer als Nr. 17	16
19	daselbst	Boden leichter als Nr. 18, trotzdem enger drainiert	15
20	Creuzweg, Kreis Labiau	Ackerkrume Sand, Untergrund etwas schwerer	20
21	Sandhof, Kreis Fischhausen	Mittlerer Lehm	16
22	Jaxen, Kreis Fischhausen	Sandiger Lehm	20

Nr. der Probe	Herkunft der Bodenproben. Gemarkung. Kreis. Provinz	Besondere Merkmale des Bodens, der Lage usw. Sonstige Bemerkungen	Entfernung der Drainage m
23	Neumühl, Kreis Wehlau	Sehr schwerer Lehm bis Ton, 1910 drainiert, Entfernung zu groß	14
24	desgl. an der Ziegelei	Ton; in der Ziegelei Sandzusatz erforderlich. Entfernung zu groß	13
25	desgl.	Sehr schwerer roter Lehm bis Ton, daher Tiefe der Drains nur 1,10 m	13
26	desgl.	Wie Nr. 25. Versuchsweise mit 12 m Entfernung und 1,05 m Tiefe drainiert	12
27	desgl.	Roter zäher Ton. Draintiefe 1,10 m	13
28	desgl.	Grauer Ton. Draintiefe 1 m	12
29	desgl.	Etwas leichter als Nr. 28	13
30	Neuhof, Kreis Königsberg	Milder Lehmboden	16
31	daselbst	Sandiger Lehm	18
32	daselbst	desgl.	16
33	daselbst	Dunkler Sandboden, im Untergrund vielfach fest gelagert. Geläude liegt sehr flach, scheint vor der Drainage sehr sumpfig gewesen zu sein	18
34	daselbst	Sandiger Lehm	18
35	Neudamm, Genossenschaft Tropitten, Kreis Königsberg	Leichter Lehm	16
36	daselbst	Mittlerer Lehm	16
37	daselbst. Gemarkung Mandeln	Sandiger Lehm	18
38	daselbst	Boden schwerer als Nr. 37	20
39	daselbst	desgl.	20
40	Groß-Park, Grafschaft Kilgis, Kr. Pr. Eylau	Sehr schwerer Ton. Vor zwei Jahren drainiert, 1,15 m tief. Wirkung zu erkennen, aber kaum ausreichend. Die Gutsverwaltung hält eine noch engere Lage und geringere Tiefe der Drains für besser	10
41	Schloßgut Ellwangen in Württemberg	Schwerer Liaston mit über 80 % abschlämmbaren Teilen. Vor 18 Jahren mit 12 m Entfernung und 0,85 bis 1,15, also im Mittel 1,00 m tief drainiert. Längsdrainage. Unzulänglichkeit der Drainage durch den wellenförmigen Stand der Kulturpflanzen alljährlich deutlich erkennbar. Nach Ansicht des Herrn Baurat Fauser-Ellwangen dürften die Drains nicht weiter als auf den 7fachen Betrag der Tiefe gelegt werden	12

Nr. der Probe	Herkunft der Bodenproben. Gemarkung. Kreis. Provinz	Besondere Merkmale des Bodens, der Lage usw. Sonstige Bemerkungen	Entfernung der Drainage m
42	Kaiserliche Herrschaft Cadinen am Frischen Haff, Kreis Elbing	Sehr schwerer Ton (derselbe, aus dem die Majoliken gebrannt werden), wird mit 10 m Entfernung drainiert. Für solche Stellen, an denen der Boden außergewöhnlich schwer ist, sollen die Drains auf 8 m gelegt werden. Alte Drainage 0,60 m tief, hat nur stellenweise genützt	8—10
43	Herrschaft Groß-Peterwitz bei Trebnitz in Schlesien	Gelände hügelig. Probe aus einer Bodensenkung. Drainiert vor 10 bis 15 Jahren mit 12 m Entfernung und 1,20 bis 1,40 m Tiefe, ohne genügenden Erfolg. Eine befriedigende Wirkung hatte auf diesem Boden nur die neu ausgeführte Drainage mit 6 m Entfernung und 0,90 bis 1,0 m Tiefe	6
44	desgl.	Boden von einer Anhöhe, sonst wie Nr. 43. Mit 8 und 10 m drainiert; voller Erfolg jedoch nur bei 8 m Drainabstand	8
45	Rittergut Brandschütz bei Bresa, Bezirk Breslau in Schlesien	Sehr schwerer schlickartiger Oder-Niederungsboden. Drainiert mit 15 m Entfernung. An einzelnen flachen Stellen, die besonders schweren Boden haben und wo die Drainage nur auf 1 m Tiefe liegt, wurde das Einlegen von Zwischensträngen auf 7,50 m erforderlich	15 (7,50)

vornherein große Differenzen unvermeidlich gewesen sein, weil die Steine bis zu einem gewissen Prozentgehalt die Durchlässigkeit ungünstig beeinflussen.[1])

Da der Steingehalt bei allen untersuchten Böden im Höchstfalle nur etwa 1 % betrug, was weder auf die Durchflußmenge noch auf die Hygroskopizität von nennenswertem Einfluß sein dürfte, so ist derselbe ganz unberücksichtigt geblieben.

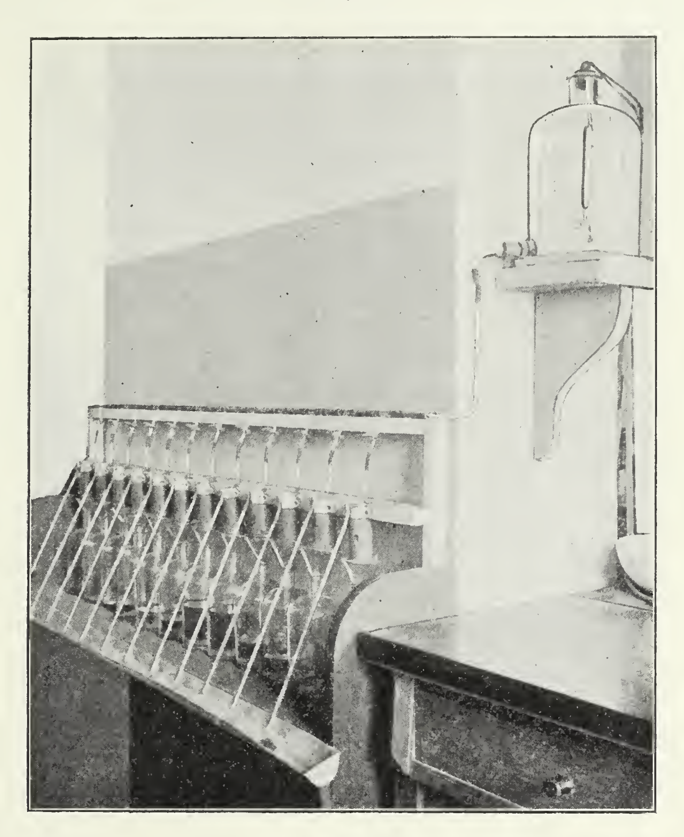
Untersucht wurden nur die *Untergrundproben*, weil die obere Schicht durch die Bearbeitung, die Düngung, die Tätigkeit der Pflanzenwurzeln usw. fast immer lockerer, poröser und durchlässiger ist, als der Untergrundboden.

---

[1]) Ramann: Bodenkunde. Berlin 1905. S. 255. — In der schlesischen Anweisung ist bei den Angaben der Strangentfernungen offenbar das Gegenteil angenommen worden, wo der Gehalt an Steinen im Lehmboden besonders betont wird.

Der Boden der Probe wurde nach dem Durchsieben auf einem Bogen Papier ausgebreitet und gemischt, sodann in kleinen Portionen von möglichst vielen Stellen in Glaszylinder von 40 mm Durchmesser und 105 mm Höhe unter beständigem Rütteln bis auf 100 mm Höhe eingefüllt. Die Zylinder wurden unten mit einem feinen Drahtsieb verschlossen und die Bodenproben oben mit einem ebensolchen bedeckt.

Abb. 3



Durch ein an die Wasserleitung angeschlossenes Röhrensystem erfolgte die Wasserzuleitung. In die Leitung wurde zur Regulierung des wechselnden Wasserdrucks ein großer Glasballon eingeschaltet, an dessen Pfropfen ein Thermometer zur Beobachtung der Wassertemperatur befestigt war. Außerdem führte ein Überlaufrohr durch den Pfropfen nach der Abflußleitung.

Bevor der Versuch begann, wurden die mit Boden gefüllten Glaszylinder so lange in Wasser eingestellt, bis der Boden bis obenhin mit Wasser gesättigt war. Dies dauerte bei den sehr schweren Ton-

böden mehrere Tage, wobei ein Aufquellen bis zu 10 % des Bodenvolumens beobachtet wurde. Durch die Benetzung von unten wurde eine vollkommene Beseitigung der Luft aus dem Boden gewährleistet. Dann wurden die Zylinder in einem Gestell befestigt, worauf durch Öffnen von Glashähnen Wasser zutropfte. Das durch den Boden sickernde Wasser wurde durch einen Glastrichter in einer Flasche aufgefangen und gemessen. Um ein Ansammeln von Wasser auf der Oberfläche des Bodens und dadurch eine Veränderung der Druckhöhe zu verhindern, wurde eine von Herrn Professor Mitscherlich erfundene ebenso einfache als sinnreiche Einrichtung angewandt, ein aus mehreren Kapillarröhren bestehender und mit absoluter Sicherheit wirkender Saugheber, der jeden überflüssigen Wassertropfen sofort in eine Ablaufrinne selbsttätig abheberte. Der Wasserzulauf konnte durch diese Einrichtung derart geregelt werden, daß einige Tropfen mehr zuflossen, als der Boden durchlassen konnte. Auf diese Weise konnten die Versuche ohne Störung tage- und wochenlang im Gange erhalten werden.

Die Messung der Wassertemperatur schien deshalb erforderlich, weil bekanntlich die Viskosität des Wassers sehr von seiner Temperatur abhängig ist und daher die gewonnenen Resultate nötigenfalls einer Berichtigung bedurften.

Die ganze Versuchsanordnung ist durch Abb. 3 veranschaulicht.

Die Ergebnisse der Versuche sind aus nachstehender Tabelle ersichtlich, in welcher sie nach der Durchlässigkeit, berechnet pro Stunde auf 10 qcm Cylinderquerschnitt, geordnet sind. (s. S. 29.)

Ein Minimum von 0 wurde nur bei Probe 44 nach zwei und nach 17 Tagen erreicht.

Bei der Untersuchung auf Wasserdurchlässigkeit würde man ein den wirklichen Lagerungsverhältnissen vielleicht annähernd entsprechendes Resultat nur erhalten können, wenn man ein Stück des Bodens, so wie er gewachsen ist, für den Versuch verwenden würde. Dies zu erreichen, scheint jedoch selbst nach dem Vorschlag Kopecky's kaum möglich, zum mindesten aber sehr schwierig. Deshalb wurden die Versuche, um die es sich hier handelt, trotz der dieser Methode zweifellos anhaftenden Mängel doch mit zerkleinertem und durchgesiebtem Boden ausgeführt, in der Annahme, daß bei gleichmäßiger Behandlung und unter sonst gleichen Voraussetzungen immerhin eine gewisse gesetzmäßige Abstufung in der Durchflußgeschwindigkeit der einzelnen Böden festzustellen sein würde. Die Resultate zeigen auch tatsächlich von den schweren zu den leichteren Böden im allgemeinen eine steigende Tendenz, jedoch sind die überall auftretenden

Nr. der Probe	Maximum der Durchflußmenge in ccm pro Stunde auf 10 qcm Querschnitt		Wasserkapazität Gewichts-%	Wasser-Temperatur C°	Drainentfernung m
	Beobachtet	Mittel			
41	0,25 0,19	0,22	39,20	17	8
40	0,19 0,29	0,24	42,22	17	10
44	0,29 0,29	0,29	46,33	17	6
28	0,22 0,53 0,55	0,43	41,61	17	12
24	0,78 0,69	0,73	47,00	17	13
43	1,16 0,94	1,05	41,26	17	8
42	1,80 0,84	1,32	42,59	17	10
23	1,68 1,06	1,37	40,73	18	14
25	1,30 1,51	1,40	38,78	17	13
26	1,46 1,45	1,45	38,11	17	12
45	1,48 1,62	1,55	48,84	17	15 (7,5)
12	1,64 1,48	1,56	37,30	20	12
27	2,82 2,65	2,73	38,08	17	13
29	1,69 5,32 1,72	2,91	39,33	17	13
36	7,74 6,77	7,25	37,75	19	16
2	7,16 7,91	7,53	31,01	19	15
15	7,14 8,30	7,72	32,97	20	14
21	8,26 7,28	7,77	33,31	18	16
22	10,12 1,00	10,56	30,98	17,5	20
8	10,00 12,26	11,13	35,60	19	12

Nr. der Probe	Maximum der Durchflußmenge in ccm pro Stunde auf 10 qcm Querschnitt Beobachtet	Mittel	Wasserkapazität Gewichts-%	Wasser-Temperatur C	Drainentfernung m
31	11,68 11,17	11,42	34,55	19	18
13	10,20 13,10	11,65	29,88	19	16
35	10,02 14,90	12,46	37,20	18,5	16
4	12,85 12,25	12,55	32,66	19	16
30	13,34 13,36	13,35	34,88	17	16
17	13,80 12,92	13,36	28,49	20	20
32	12,85 13,94	13,40	34,45	18	16
19	10,00 10,16 20,16	13,44	26,98	17,5	15
16	13,11 14,53	13,82	30,19	20	18
3	13,34 15,03	14,18	33,24	19	17
18	14,84 16,50	15,67	30,00	18	16
39	19,27 19,15	19,21	39,36	19	20
9	22,30 25,70	24,00	30,65	19	16
1	26,50 22,56	24,53	30,19	19	14
34	26,97 23,69	25,33	31,75	18	18
37	26,05 25,58	25,81	34,78	19	18
11	26,80 28,64	27,72	31,41	19	20
14	32,68 36,12	34,40	32,97	19	18
10	29,66 29,90 30,45 50,40	35,10	30,48	19	18
38	32,89 38,27	35,58	36,64	19	20

Nr. der Probe	Maximum der Durchflußmenge in ccm pro Stunde auf 10 qcm Querschnitt Beobachtet	Mittel	Wasserkapazität Gewichts-%	Wasser-Temperatur C	Drainentfernung m
20	54,60 63,80	59,20	27,00	17,5	20
7	147 139	143	39,70	19	14
33	191 185	188	32,05	18	18
6	213 244 178	212	30,47	19	24
5	326 304	315	30,31	19	26

Abweichungen sehr beträchtlich. Am meisten bedenklich aber sind die bei einzelnen Bodenproben beobachteten Differenzen der Parallelversuche. Man vergleiche nur die Zahlen der Proben Nr. 40, 28, 42, 23, 29, 35, 19, 10 usw. Daraus dürfte zur Genüge hervorgehen, daß die Zuverlässigkeit der experimentell ermittelten Wasserdurchlässigkeit eine sehr zweifelhafte ist.

Auch die Wasserkapazität gibt ebensowenig wie die Luftkapazität einen Anhalt für die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Denn es zeigen z. B. annähernd dieselbe Wasserkapazität die Proben Nr. 41, 29 und 7, ferner 22, 16, 1, 5 usw., Böden, deren Charaktere unvergleichlich verschieden sind.

Wenn wir nun noch den Verlauf der Durchlässigkeitsversuche betrachten wollen, so ist bemerkenswert, daß derselbe bei einzelnen Proben ein ganz verschiedener gewesen ist. Während bei einigen das Maximum der Durchflußgeschwindigkeit sich gleich zu Anfang des Versuches einstellte, trat es bei anderen erst später ein. Nach Erreichung des Höhepunktes nahm die Durchlässigkeit, abgesehen von einzelnen Schwankungen, langsam ab, bis sie schließlich in den meisten Fällen mit der Zeit konstant blieb. In einzelnen Fällen konnte aber diese Konstanz auch nicht mehr festgestellt werden. Die Abnahme der Durchflußgeschwindigkeit glaubte ich auf eine Dislozierung der Tonteilchen von oben nach unten — infolge der Wasserbewegung — zurückführen zu sollen, weshalb ich nach Abschluß des Versuches von 3 Proben die Hygroskopizität der oberen und unteren Hälfte des Zylinderinhaltes bestimmte. Würde meine Vermutung zutreffend ge-

wesen sein, so hätte eine deutlich bemerkbare Verschiebung auch hinsichtlich der Hygroskopizität eintreten müssen; sie hätte im oberen Teil des Zylinders kleiner, unten größer werden müssen.

Nr. der Probe	Hygroskopizität		
	vor dem Durchlässigkeitsversuch	obere Hälfte	untere Hälfte
2	5,46	5,43	5,40
4	4,82	4,86	4,74
5	1,52	1,47	1,41

Die Zahlen ergeben hierfür aber durchaus keinen Anhalt; fast scheinen sie das Gegenteil darzutun. Dies ist jedoch wohl nur scheinbar der Fall, da sich die Differenzen nur innerhalb der zulässigen Fehlergrenzen bewegen. Die gedachte Erscheinung dürfte daher wohl bereits in Bodenschichten von geringerer Höhe als 10 cm stattfinden.

Um dies zu untersuchen, wie auch ferner aus dem Grunde, weil die ursprüngliche Höhe des Bodenkörpers sich bei der Benetzung infolge der Quellung bei den schwereren Böden wesentlich veränderte, wurde noch durch einen Versuch festgestellt, inwieweit die Höhe der Bodensäule von Einfluß auf die Durchflußgeschwindigkeit ist. Dazu wurde von Probe 10 in die Glaszylinder Boden in 1, 2, 4, 6, 8 und 10 cm Höhe eingefüllt und die Durchflußmenge in der angegebenen Weise bestimmt. Die Ergebnisse, die durch ihre Gleichmäßigkeit geradezu überraschen, sind nachstehend graphisch zur Darstellung gebracht worden. Die Kurven erreichen sämtlich in den ersten drei Tagen ihren Höhepunkt, um dann mit einigen Schwankungen abzufallen, bis sie nach Verlauf von etwa 300 Stunden annähernd geradlinig weiter verlaufen. Eine Ausnahme macht nur die Kurve der geringsten Bodenhöhe von 1 cm, die schon am Anfang wesentlich von allen anderen abweicht, und nach etwa 250 Stunden plötzlich enorm ansteigt. Es hatte den Anschein, als ob ein Durchbruch des Wassers erfolgt wäre, der sich dann, wie der weitere Verlauf der Kurve zeigt, noch mehrmals bis zur Unterbrechung des Versuchs wiederholte. Diese Erscheinung ist wohl nur auf die sehr dünne Bodenschicht zurückzuführen, denn auch die Kurve der 2 cm starken Schicht zeigt noch ganz zuletzt, wenn auch in erheblich geringerem Maße, ein ähnliches, plötzlich starkes Ansteigen. Der Verlauf der übrigen Kurven läßt dagegen erkennen, daß die Stärke der Bodenschicht von 2 cm aufwärts auf die Durchflußgeschwindigkeit nicht von Einfluß ist.

Einfl

Bodenprob

Höh

500
80
60
40
20
400
80
60
40
20
300

in ccm.

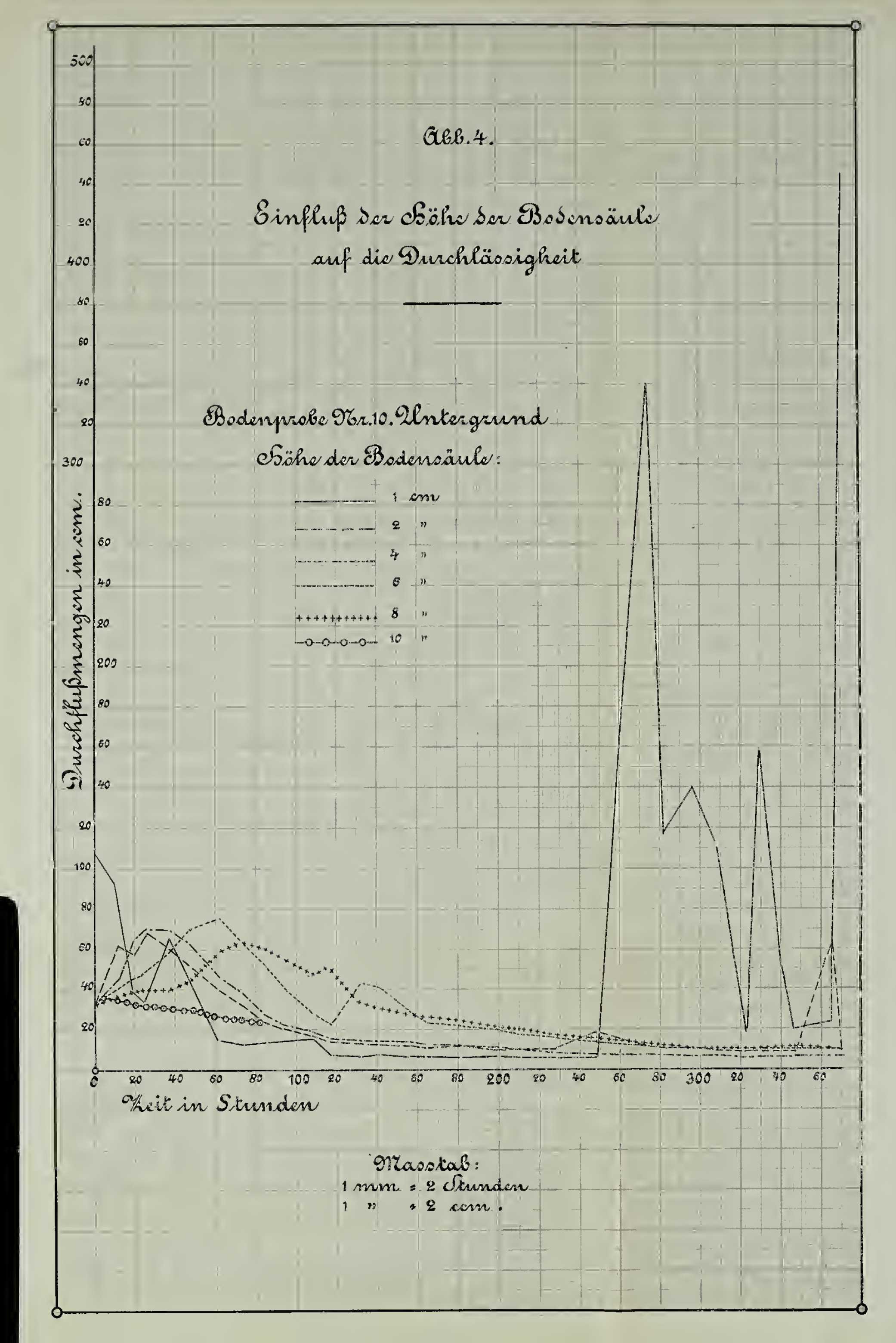
80
60

wesen sein, so hätte eine deutlich bemerkbare Verschiebung auch hinsichtlich der Hygroskopizität eintreten müssen; sie hätte im oberen Teil des Zylinders kleiner, unten größer werden müssen.

Nr. der Probe	Hygroskopizität		
	vor dem Durchlässigkeitsversuch	obere Hälfte	untere Hälfte
2	5,46	5,43	5,40
4	4,82	4,86	4,74
5	1,52	1,47	1,41

Die Zahlen ergeben hierfür aber durchaus keinen Anhalt; fast scheinen sie das Gegenteil darzutun. Dies ist jedoch wohl nur scheinbar der Fall, da sich die Differenzen nur innerhalb der zulässigen Fehlergrenzen bewegen. Die gedachte Erscheinung dürfte daher wohl bereits in Bodenschichten von geringerer Höhe als 10 cm stattfinden.

Um dies zu untersuchen, wie auch ferner aus dem Grunde, weil die ursprüngliche Höhe des Bodenkörpers sich bei der Benetzung infolge der Quellung bei den schwereren Böden wesentlich veränderte, wurde noch durch einen Versuch festgestellt, inwieweit die Höhe der Bodensäule von Einfluß auf die Durchflußgeschwindigkeit ist. Dazu wurde von Probe 10 in die Glaszylinder Boden in 1, 2, 4, 6, 8 und 10 cm Höhe eingefüllt und die Durchflußmenge in der angegebenen Weise bestimmt. Die Ergebnisse, die durch ihre Gleichmäßigkeit geradezu überraschen, sind nachstehend graphisch zur Darstellung gebracht worden. Die Kurven erreichen sämtlich in den ersten drei Tagen ihren Höhepunkt, um dann mit einigen Schwankungen abzufallen, bis sie nach Verlauf von etwa 300 Stunden annähernd geradlinig weiter verlaufen. Eine Ausnahme macht nur die Kurve der geringsten Bodenhöhe von 1 cm, die schon am Anfang wesentlich von allen anderen abweicht, und nach etwa 250 Stunden plötzlich enorm ansteigt. Es hatte den Anschein, als ob ein Durchbruch des Wassers erfolgt wäre, der sich dann, wie der weitere Verlauf der Kurve zeigt, noch mehrmals bis zur Unterbrechung des Versuchs wiederholte. Diese Erscheinung ist wohl nur auf die sehr dünne Bodenschicht zurückzuführen, denn auch die Kurve der 2 cm starken Schicht zeigt noch ganz zuletzt, wenn auch in erheblich geringerem Maße, ein ähnliches, plötzlich starkes Ansteigen. Der Verlauf der übrigen Kurven läßt dagegen erkennen, daß die Stärke der Bodenschicht von 2 cm aufwärts auf die Durchflußgeschwindigkeit nicht von Einfluß ist.


Abb. 4.
Einfluß der Höhe der Bodensäule
auf die Durchlässigkeit
Bodenprobe Nr. 10. Untergrund
Höhe der Bodensäule:
1 cm
2 "
4 "
6 "
8 "
10 "
Durchflußmengen in ccm.
Zeit in Stunden
Masstab:
1 mm = 2 Stunden
1 " = 2 ccm.



Wir würden daraus folgern können, daß bei der Einlagerung einer undurchlässigen Schicht in sonst leichterem Boden die Durchlässigkeit nur von dieser undurchlässigen Bodenschicht abhängig ist, und daß es dabei auf die Stärke dieser Schicht gar nicht ankommt. Ersteres ist ja auch eine bekannte Tatsache,[1]) inwieweit letzteres in der Praxis Bestätigung findet, bedarf noch weiterer Untersuchungen.

---

5. Versuche über die Hygroskopizität drainierter Böden.

Die überraschenden Resultate, welche E. A. Mitscherlich erzielte mit Hilfe der von ihm ausgearbeiteten Methode,[2]) den physikalischen Charakter eines Bodens auf Grund der *Bodenoberfläche* zu bestimmen, legten den Gedanken nahe, Untersuchungen nach der Richtung anzustellen, ob zwischen der Entfernung der Drains und der Bodenoberfläche ein gesetzmäßiger Zusammenhang besteht. Da ich wohl annehmen darf, daß diese Untersuchungen in kulturtechnischen Kreisen einiges Interesse erwecken werden, daß aber die Methode von Mitscherlich gerade in diesen Kreisen noch wenig oder gar nicht bekannt ist, so möge es gestattet sein, zunächst die Methode selbst kurz zu behandeln.

Mitscherlich versteht unter Bodenoberfläche die Gesamtoberfläche aller Bodenteilchen. *„An dieser Bodenoberfläche, die identisch ist mit der Oberfläche des Hohlraumvolumens, spielen sich alle Vorgänge im Boden ab, wie die kapillare Wasserbewegung, die Aneinanderlagerung der festen Bestandteile, die chemischen und physikalischen Ab- und Adsorptionen, die kolloidalen und chemischen Umsetzungen und alle physiologischen Vorgänge.*[3])

Bei allen diesen Vorgängen spielen aber die Größe und Gestalt des Hohlraumvolumens, welche in der Größe der Bodenoberfläche zum Ausdruck kommen, die wichtigste Rolle. Die Kenntnis der Oberfläche eines Bodens ist daher wie keine andere Eigenschaft am besten dazu geeignet, uns über die genannten Vorgänge im Boden Aufschluß zu geben.

Die Summe der Oberflächen aller Bodenteilchen ist um so größer, je kleiner die Teilchen sind, also je feinkörniger der Boden ist; und umgekehrt: je feiner die Bodenteilchen, desto größer ist die Boden-

---

[1]) Vergl. E. Wollny: Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik Bd. 14. S. 20.

[2]) E. A. Mitscherlich: Bodenkunde für Land- und Forstwirte. Berlin 1905. S. 49 ff.

[3]) Mitscherlich: Aus dem Vortrag, gehalten auf der Naturforscher-Versammlung in Königsberg i. Pr., September 1910. Chemiker-Zeitung 1910, Nr. 113.

oberfläche. Dies läßt sich durch ein einfaches Rechenexempel ohne weiteres nachweisen. Nehmen wir an, der Boden setze sich zunächst aus Körnchen von kugelrunder Gestalt zusammen. Eins dieser Körnchen habe einen Durchmesser von 4 mm, so ist der Inhalt oder das Volumen $J = \frac{4}{3} R^3 \pi = 33{,}50$ cmm, und die Oberfläche $F = 4 R^2 \pi = 50{,}24$ mm². Denkt man sich statt dieses einen Korns zwei kleinere, welche zusammen dasselbe Volumen haben, so werden sie eine Oberfläche haben:

$$F = 2\ (4\, r^2 \pi) = 63{,}28 \text{ qmm.}$$

Die Gesamtoberfläche der beiden kleinen Körner ist also bedeutend größer als die Oberfläche des großen Korns mit demselben Inhalt.

Die Bodenteilchen haben aber nur in seltenen Fällen annähernd kugelrunde Gestalt. Je mehr sie von dieser Form abweichen, desto größer ist ihre Oberfläche. Es kommt daher in der Bodenoberfläche nicht allein die Korngröße, sondern auch ihre Gestalt zum Ausdruck. Wenn man nun annimmt, daß die Bodenteilchen in den einzelnen Bodenarten annähernd ähnliche Form aufweisen, so würde die Bodenoberfläche lediglich für die Korngröße maßgebend sein.

Zur Bestimmung der Bodenoberfläche hat Mitscherlich zwei verschiedene Methoden angegeben, welche uns zwar nicht direkt die Bodenoberfläche, sondern dieser proportionale Größen angeben: die Bestimmung der Benetzungswärme und die Bestimmung der Hygroskopizität.

Unter Benetzungswärme ist die Wärmemenge zu verstehen, welche bei Benetzung absolut trockenen Bodens mit Wasser frei wird. Sie ist hauptsächlich von der Größe der benetzten Oberfläche abhängig und wird mit Hilfe des Eiskalorimeters bestimmt. Diese Methode ist sehr genau, aber sehr umständlich und zeitraubend. Einfacher ist die Bestimmung der Hygroskopizität.

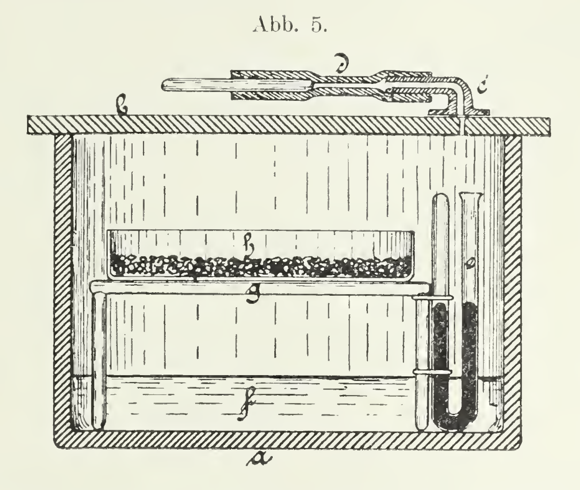
Unter der Hygroskopizität versteht man die Wassermenge, welche der Boden enthält, wenn sämtliche Bodenteilchen mit einer Molekülschicht Wasser bedeckt sind. Der Boden hat in absolut trockenem Zustande die Eigenschaft, infolge der Molekularkräfte Wassermoleküle anzuziehen, bis die Oberfläche sämtlicher Bodenteilchen mit Wasser benetzt ist. Es ist also die Hygroskopizität eine der Gesamtoberfläche proportionale Größe und der Kenntnis der letzteren praktisch gleichbedeutend.

Würde man nun den Boden, nachdem sich seine sämtlichen Teilchen mit einer Molekülschicht Wasser bedeckt haben, noch länger in mit Wasserdampf gesättigter Luft belassen, so würden infolge von Kondensationserscheinungen noch weitere Wassermengen auf dem Boden niedergeschlagen werden können. Um dies zu vermeiden, sind

RODEWALD und MITSCHERLICH[1]) so vorgegangen, daß sie den Boden seine Dampfspannung gegen die einer 10prozentigen Schwefelsäure (10,00 % H_2SO_4) ausgleichen ließen.

Man kann nun den Boden zuerst trocknen und dann über 10 % H_2SO_4 ansetzen, oder den lufttrockenen Boden zuerst so lange über 10 % H_2SO_4 aufstellen, bis der Dampfspannungsausgleich erfolgt ist, und ihn sodann trocknen. Bei den vorliegenden Versuchen wurde das letztere Verfahren angewandt.

Abb. 5.



Für die Bestimmung der Hygroskopizität bringt man etwa 30 g lufttrocknen Boden in ein Glasschälchen (Wiener Normalglas) von 8 cm Durchmesser und 1,5 cm Höhe, dessen Rand plan geschliffen ist, um es mit einem ebenfalls abgeschliffenen Glasdeckel möglichst luftdicht zudecken zu können. Das Gewicht des Schälchens mit Deckel muß vorher bestimmt werden. Nun stellt man das Schälchen mit dem Boden — aber ohne Deckel — in einen zylindrischen Glasexsikkator von etwa 8 cm Höhe und 12 cm Durchmesser mit abgeschliffenem Rand, nachdem vorher mittels einer Pipette 100 g 10 % H_2SO_4 in das Gefäß eingefüllt und ein Glasdreifuß (g) eingestellt wurde.

An dem Dreifuß wird ein kleines Quecksilbermanometer (e) befestigt. Der Exsikkator wird darauf, nachdem man den Rand des Gefäßes vorher mit einem eigens dazu präparierten zähen Fett (Gummischmiere) gut eingefettet hat, mit einer starken, eben geschliffenen Glasplatte (b) zugedeckt. Der an dem Deckel befindliche Tubus wird sodann mittels Gummischlauchs an eine Wasserstrahlluftpumpe angeschlossen und das Gefäß evakuiert. Danach wird der Tubus mit

[1]) Ldw. Vers.-Stat. 1903. S. 433.

einem Glasstöpsel geschlossen. Das Manometer dient als Indikator für das Vakuum.

Nun wird der Exsikkator in einen dunklen Schrank gestellt, um Temperaturschwankungen möglichst abzuhalten. Nach 3 Tagen läßt man mit Hilfe zweier mit 10% H_2SO_4 gefüllter Waschflaschen langsam Luft in den Exsikkator, um die Schwefelsäure zu erneuern und ihn alsdann von neuem zu evakuieren. Während des Auswechselns der H_2SO_4 wird die Glasschale dem Gefäß entnommen und mit dem kleinen Glasdeckel zugedeckt. Nachdem der Apparat sodann weitere 2 bis 3 Tage im Dunkeln gestanden hat, ist der Dampfspannungsausgleich beendet und die aufgenommene Wassermenge bleibt konstant.

Nun läßt man auf die vorbeschriebene Weise wieder Luft in den Exsikkator, deckt das Glasschälchen mit dem Deckel zu und wägt. Von dem erhaltenen Gewicht zieht man die früher notierte Tara von Glasschälchen mit Deckel ab und man erhält

Boden + hygroskopisches Wasser.

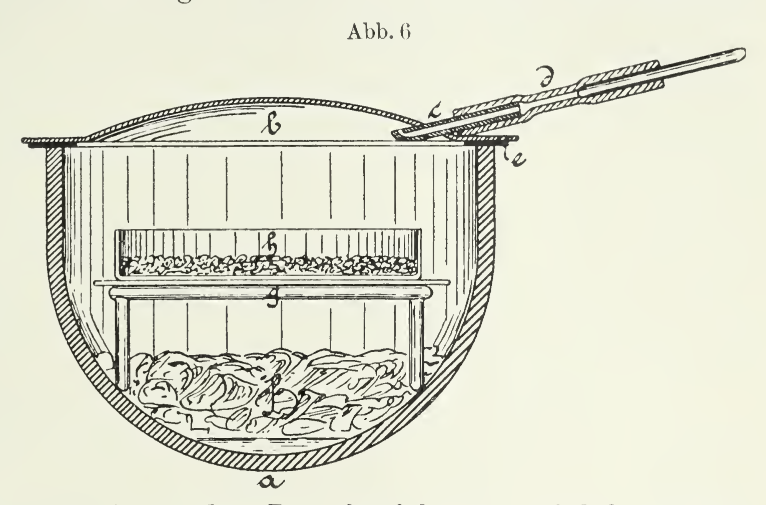
Darauf wird der Boden getrocknet. Dazu bedient man sich eines halbkugelförmigen Glasexsikkators von etwa 11 cm Durchmesser. Die Wandstärke muß ebenso wie bei dem vorigen des Luftdruckes wegen ziemlich stark sein, etwa 4 bis 5 mm. Der Rand ist ebenfalls abgeschliffen. Darauf paßt ein nach oben gewölbter, mit einem Tubus versehener Messingdeckel. In den Exsikkator wird zunächst etwas Phosphorpentoxyd (P_2O_5) gebracht, welches den beim Trocknen aus dem Boden entweichenden Wasserdampf aufnimmt. Ein in den Exsikkator gestellter Glasdreifuß nimmt das Bodenschälchen, von welchem der Deckel entfernt wird, auf. Unter das Schälchen wird noch eine nur wenig größere Glasscheibe gelegt, welche Beschläge, die durch Verstäuben von Phosphorpentoxyd entstehen können, abhält. Nachdem der Rand des Exsikkators mit Gummischmiere schwach eingefettet und auf den Rand des Messingdeckels ein etwa 1,5 cm breiter Paragummiring mit demselben Fett aufgeklebt ist, wird das Gefäß geschlossen und evakuiert.

Die Anbringung eines Quecksilbermanometers ist hier nicht angängig, weil das Quecksilber beim späteren Erhitzen überdestillieren würde. Man muß sich daher durch ein vorzulegendes Manometer von dem Vorhandensein des Vakuums überzeugen.

Der Exsikkator wird sodann in ein eisernes Gestell gesetzt und in einen Kochtopf gebracht, in welchen etwa 6 bis 8 cm Wasser gegeben wurde. (Bei meinen Versuchen wurde der Deckel des Kochtopfs mit einer elastischen Eichenholzleiste, welche durch die beiden Henkel gesteckt wurde, fest aufgedrückt, um einen einigermaßen

dichten Verschluß zu erzielen. Das Gestell und der Topf waren so eingerichtet, daß $2 \times 3 = 6$ Exsikkatoren zugleich eingestellt werden konnten.) Der Kessel wird nun über einer Gasflamme erhitzt; der sich entwickelnde Dampf erwärmt die Exsikkatoren mit der Bodenprobe auf 100° C, wobei das in dem Boden enthaltene Wasser verdunstet und von dem P_2O_5 absorbiert wird. Dieser Vorgang ist nach 4 Stunden beendigt. Man nimmt das Gestell mit Exsikkator

Abb. 6



(eventuell mehreren) aus dem Dampftopf heraus und läßt abkühlen. Alsdann wird langsam und vorsichtig durch eine mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllte Waschflasche trockene Luft in den Exsikkator eingelassen, der Tubus wieder mit dem Glasstöpsel verschlossen, der Messingdeckel mit einem Bunsenbrenner erwärmt und durch seitliches Abschieben entfernt. Mit dem bereitliegenden kleinen Glasdeckel wird das Glasschälchen schnell zugedeckt und gewogen. Man erhält nun das Gewicht des absolut trockenen Bodens + Tara. Nach Abzug der letzteren bleibt das Gewicht des trockenen Bodens übrig. Die Differenz zwischen diesem und dem früher erhaltenen Gewicht von Boden + hygroskopischem Wasser ergibt das Gewicht des letzteren. Es ist nun die Hygroskopizität in Gewichtsprozenten ausgedrückt:

$$h = \frac{w \cdot 100}{g}$$

wenn mit w das Gewicht des hygroskopischen Wassers,
" " g " " " trockenen Bodens
bezeichnet wird.

Die nach dieser Methode erhaltenen Resultate sind im Vergleich zu den Ergebnissen der mechanischen Analyse sehr genau; sie schwanken höchstens um 1 %.

Es kommt nun noch ein Moment in Betracht, nämlich, daß die Hygroskopizität nur einen Wert für diejenige Bodenoberfläche ergibt, welche für die Aneinanderlagerung der festen Teilchen in Betracht kommt, wenn der Boden nur aus mineralischen Bestandteilen, wie Ton und Sand, besteht. Dies ist aber, besonders in der Mutterbodenschicht, meistens nicht der Fall, weil gewöhnlich noch Humusbestandteile hinzutreten. Diese organischen Teile nehmen aber nicht nur äußerlich Wasser auf, sondern es dringt auch Wasser in das Innere der den Humus bildenden zerstörten Pflanzenzellen etc. ein. Mitscherlich unterscheidet deshalb eine *äußere* und eine *innere* oder micellare Bodenoberfläche. Die Hygroskopizität ist der Maßstab für die Summe dieser beiden, d. h. für die gesamte Oberfläche. Auch die äußere Oberfläche läßt sich auf ähnliche Weise wie die gesamte Oberfläche bestimmen, indem man an Stelle des Wassers eine organische Flüssigkeit, z. B. Tetrachlorkohlenstoff, Toluol oder Öl-Benzol anwendet, deren Molenküle größer als die des Wassers und deshalb nicht imstande sind, in die inneren micellaren Hohlräume der Humussubstanzen einzudringen.

Die vorliegenden Untersuchungen beziehen sich nur auf mineralische Böden, die höchstens in der Mutterbodenschicht Humussubstanzen in wesentlicher Menge enthalten. Da es aber bei der Drainage ausnahmslos auf die Beschaffenheit des Untergrundes ankommt, der keine organischen Substanzen enthält, indem, wie schon früher erwähnt, die Mutterbodenschicht durch die mechanische Bearbeitung usw. stets lockerer und durchlässiger ist, so schien es nicht erforderlich, die äußere Bodenoberfläche des Untergrundes noch besonders zu bestimmen. Wohl aber ist auch die Hygroskopizität der Mutterbodenschicht bestimmt worden, um zu untersuchen, welche Unterschiede zwischen dieser und dem Untergrund bestehen.

Um noch einen Überblick zu geben, innerhalb welcher Grenzen sich die Hygroskopizitätswerte der einzelnen Bodenarten bewegen, mag noch erwähnt werden, daß für reinen Quarzsand[1]) die Hygroskopizität zu 0 und für den schwersten bisher untersuchten Ton[2]) (Javaton) zu 24,68 bestimmt worden ist.

In der nachfolgenden Tabelle, welche die Versuchsresultate der früher aufgeführten Proben drainierter Böden enthält, sind auch zum Vergleich die Maximal-Durchflußmengen, die sich bei der Durchlässigkeitsbestimmung ergaben, eingesetzt worden.

---

[1]) E. A. Mitscherlich: Bodenkunde. S. 71.

[2]) Fr. Scheeffer: Bestimmung der äußeren Bodenoberfläche. In.-Diss. Königsberg. 1909. S. 25.

Nr. der Bodenprobe	Hygroskopizität der oberen Schicht %	Hygroskopizität der oberen Schicht Mittel	Hygroskopizität des Untergrundes %	Hygroskopizität des Untergrundes Mittel	Maximum der Durchflußmenge ccm/Std.	Der Boden ist drainiert mit einer Strangentfernung von m
44	11,08 11,06	11,07	19,53 19,56	19,55	0,29	6
45	9,45 9,65	9,55	17,30 17,30	17,30	1,55	15 (7,5)
24	11,87	11,87	16,59 16,46	16,52	0,73	13
43	12,21 12,09	12,15	14,81 14,32	14,56	1,05	8
40	8,60 8,47	8,53	14,51 14,31	14,41	0,24	10
23	5,07 5,01	5,04	13,38 13,39	13,39	1,37	14
42	8,29 8,46	8,38	12,40 12,35	12,38	1,32	10
41	6,51 6,50	6,50	12,38 12,30	12,34	0,22	8
28	15,83 15,64	15,74	11,71 11,80	11,75	0,43	12
25	8,30	8,30	11,63 11,70	11,66	1,40	13
29	3,98 4,06	4,02	11,49	11,49	2,91	13
26	6,93 7,00	6,96	11,00 11,06	11,03	1,45	12
27	13,07 13,28 13,29	13,20	10,74 10,86	10,80	2,73	13
12	9,44 9,35	9,40	9,56 9,39	9,48	1,56	12
36	5,61 5,71	5,66	6,55 6,62	6,58	7,25	16
8	6.17 6,27	6,22	6,44 6,47	6,45	11,13	12
39	5,30 5,32	5,31	6,03 5,98	6,00	19,21	20
15	7,24 7,15	7,20	5.96 5,95	5,95	7,72	14
21	4,31 4,36	4,34	5,59 5,69	5,64	7,77	16
2	3,19 3,16	3,18	5,36 5,56	5,46	7,53	15

Nr. der Bodenprobe	Hygroskopizität				Maximum der Durchflußmenge	Der Boden ist drainiert mit einer Strangentfernung von
	der oberen Schicht		des Untergrundes			
	%	Mittel	%	Mittel	ccm/Std.	m
30	4,25 4,28	4,26	5,24 5,18	5,21	13,35	16
35	3,93 3,99	3,96	5,03 5,36	5,20	12,46	16
32	3,48	3,48	5,09 5,03	5,06	13,40	16
4	4,04 4,05	4,05	4,77 4,91 4,78	4,82	12,55	16
13	4,60 4,64	4,62	4,76 4,69	4,72	11,65	17
11	3,76 3,76	3,76	4,75 4,67	4,71	27,72	20
14	3,81 3,80	3,80	4,66 4,70	4,68	34,40	18
38	4,26 4,30	4,28	4,46 4,76	4,61	35,58	20
31	3,63 3,57	3,60	4,56 4,45	4,50	11,42	18
3	3,49 3,44	3,46	4,17 4,24 4,38	4,26	14,18	17
22	3,35 3,36	3,35	4,21 4,27	4,24	10,56	20
10	3,35 3,32	3,33	4,24 4,20	4,22	35,10	18
37	3,42 3,38	3,40	4,22 4,07	4,15	25,81	18
7	7,94 8,09	8,01	4,01 4,11	4,06	143	14
18	3,63 3,75	3,69	4,02 4,05	4,04	15,67	16
34	3,41 3,40	3,40	3,98 4,02	4,00	25,33	18
1	2,42 2,42	2,42	3,98 3,74 3,79	3,83	24,53	14
16	2,82 2,81	2,81	3,44 3,52	3,48	13,82	18
9	3,11 3,14	3,12	3,45 3,43	3,44	24,00	16
19	2,92 2,83	2,88	3,23 3,05	3,14	13,44	15

Nr. der Boden-probe	Hygroskopizität				Maximum der Durchfluß-menge	Der Boden ist drainiert mit einer Strang-entfernung von
	der oberen Schicht		des Untergrundes			
	%	Mittel	%	Mittel	ccm/Std.	m
17	2,95 2,79	2,87	2,91 2,94	2,93	13,36	17
33	3,39 3,47	3,43	2,87 2,88	2,88	188	18
6	2,62 2,75	2,68	1,90 1,99	1,95	212	24
20	3,75 3,78	3,77	1,83 1,83	1,83	59,20	20
5	2,79 2,86	2,82	1,47 1,57	1,52	315	26

Um über das große Zahlenmaterial einen Überblick zu erhalten, schien es zweckmäßig, die Resultate in ein Koordinatensystem graphisch aufzutragen, und zwar die Entfernung der Drains als Abszissen, die Hygroskopizitätswerte des Untergrundes als Ordinaten.

Bereits bei der Vornahme der Bohrungen stellte sich heraus, daß an vielen Stellen schon nach den heute üblichen Grundsätzen zweifellos nicht die richtige Drainentfernung gewählt worden ist. Ich glaube mich auf Grund meiner langjährigen eigenen praktischen Erfahrungen zu diesem Urteil für berechtigt halten zu dürfen. In der Zusammenstellung der Bodenproben sind überall da, wo mir die Richtigkeit der gewählten Drainentfernung bei der Probeentnahme zweifelhaft vorkam, entsprechende Vermerke gemacht worden. Diese Bodenproben mußten naturgemäß zunächst als unzuverlässig außer Betracht bleiben. Es wurden daher nur die Resultate derjenigen Proben aufgetragen, die von Ackerschlägen entnommen sind, auf welchen die Richtigkeit und Zweckmäßigkeit der angewandten Drainentfernung praktisch erprobt ist oder bei den Bohrungen als zutreffend anerkannt wurde. Das sind zunächst von den schweren Böden diejenigen von Groß-Peterwitz (43 und 44), von Groß-Park (40) und Cadinen, während die schweren Tonböden von Neumühl (23 bis 29) durchweg als zu weit drainiert bezeichnet werden müssen. Von den mittleren Böden sind eine ganze Reihe durchaus zuverlässiger Proben vorhanden. Auch die ganz leichten Böden von Altwalde können als sicherer Anhalt gelten. Es war nun nicht anzunehmen, daß die gegebenen Zahlen gerade Grenz- oder Mittelwerte für die betreffenden

Strangentfernungen darstellten, sondern die Grenzwerte mußten erst durch Interpolation gefunden und daraus die Mittelwerte bestimmt werden. Letztere sind sodann graphisch aufgetragen worden; sie ergeben die auf der Abb. 7 gestrichelte Kurve, welche folgender Gesetzmäßigkeit entspricht:

$$\log w_0 - \log w_1 = c\,(d_1 - d_0) \qquad 1$$

Hierin bedeutet:

w_0 = Hygroskopizität für die Strangentfernung des Ausgangspunktes;
w_1 = Hygroskopizität für eine beliebige andere Strangentfernung;
d_0 = Strangentfernung 0 m;
d_1 = Strangentfernung für einen beliebigen Wert w_1;
c = eine Konstante.

Es ist dann, da $d_0 = 0$ ist,

$$d_1 = \frac{\log w_0 - \log w_1}{c} \qquad 2$$

$$c = \frac{\log w_0 - \log w_1}{d_1} \qquad 3$$

Die Konstante c wurde wie folgt gefunden:

1. Fall: Zieht man zunächst die Hygroskopizität für die geringste Drainentfernung, also von Bodenprobe 44 mit 19,55 in Betracht und setzt für $w_1 = 15$, so ist

$\log w_0 = \log 19{,}55 = 1{,}2911$
$\log w_1 = \log 15{,}00 = 1{,}1761$
$0{,}1150 : (8{,}15 - 6) = 2{,}15 = 0{,}053.$

Den Wert 8,15 gibt die Kurve für $w_1 = 15$ an.

2. Fall: Angenommen $w_0 = 19{,}55$ und $w_1 = 10{,}00$, so ist

$\log w_0 = \log 19{,}55 = 1{,}2911$
$\log w_1 = \log 10{,}00 = 1{,}0000$
$0{,}2911 : (11{,}55 - 6) = 0{,}053.$

3. Fall: Angenommen $w_0 = 10{,}0$ und $w_1 = 5$, dann ist:

$\log w_0 = \log 10 = 1{,}0000$
$\log w_1 = \log 5 = 0{,}6990$
$0{,}3010 : (16{,}50 - 11{,}55) = 0{,}061.$

4. Fall: Für $w_0 = 5$ und $w_1 = 3$ ist:

$\log w_0 = \log 5 = 0{,}6990$
$\log w_1 = \log 3 = 0{,}4771$
$0{,}2219 : (20{,}8 - 16{,}5) = 0{,}051.$

Das arithmetische Mittel für die Konstante c ergibt sich hieraus zu 0,055.

er Versuchsresultate.

Drainentfernungen d.

ygroskopizitätswerte w.

gliche Bestimmungskurve,

berechnete Kurve dar.

Strangentfernungen darstellten, sondern die Grenzwerte mußten erst durch Interpolation gefunden und daraus die Mittelwerte bestimmt werden. Letztere sind sodann graphisch aufgetragen worden; sie ergeben die auf der Abb. 7 gestrichelte Kurve, welche folgender Gesetzmäßigkeit entspricht:

$$\log w_0 - \log w_1 = c\,(d_1 - d_0) \qquad \mathbf{1}$$

Hierin bedeutet:

w_0 = Hygroskopizität für die Strangentfernung des Ausgangspunktes;

w_1 = Hygroskopizität für eine beliebige andere Strangentfernung;

d_0 = Strangentfernung 0 m;

d_1 = Strangentfernung für einen beliebigen Wert w_1;

c = eine Konstante.

Es ist dann, da $d_0 = 0$ ist,

$$d_1 = \frac{\log w_0 - \log w_1}{c} \qquad \mathbf{2}$$

$$c = \frac{\log w_0 - \log w_1}{d_1} \qquad \mathbf{3}$$

Die Konstante c wurde wie folgt gefunden:

1. Fall: Zieht man zunächst die Hygroskopizität für die geringste Drainentfernung, also von Bodenprobe 44 mit 19,55 in Betracht und setzt für $w_1 = 15$, so ist

$\log w_0 = \log 19{,}55 = 1{,}2911$
$\log w_1 = \log 15{,}00 = \underline{1{,}1761}$
$0{,}1150 : (8{,}15 - 6) = 2{,}15 = 0{,}053.$

Den Wert 8,15 gibt die Kurve für $w_1 = 15$ an.

2. Fall: Angenommen $w_0 = 19{,}55$ und $w_1 = 10{,}00$, so ist

$\log w_0 = \log 19{,}55 = 1{,}2911$
$\log w_1 = \log 10{,}00 = \underline{1{,}0000}$
$0{,}2911 : (11{,}55 - 6) = 0{,}053.$

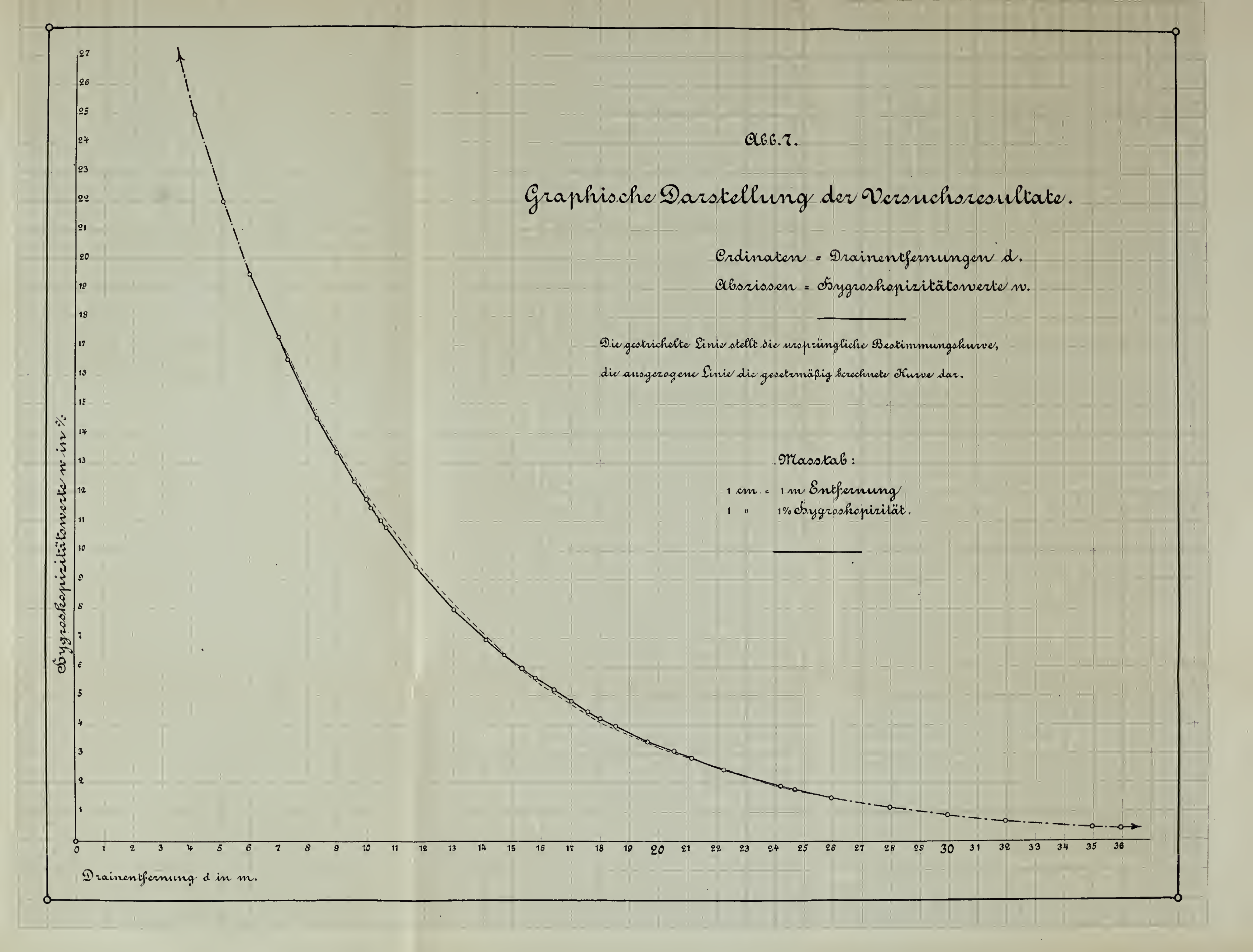
3. Fall: Angenommen $w_0 = 10{,}0$ und $w_1 = 5$, dann ist:

$\log w_0 = \log 10 = 1{,}0000$
$\log w_1 = \log 5 = \underline{0{,}6990}$
$0{,}3010 : (16{,}50 - 11{,}55) = 0{,}061.$

4. Fall: Für $w_0 = 5$ und $w_1 = 3$ ist:

$\log w_0 = \log 5 = 0{,}6990$
$\log w_1 = \log 3 = \underline{0{,}4771}$
$0{,}2219 : (20{,}8 - 16{,}5) = 0{,}051.$

Das arithmetische Mittel für die Konstante c ergibt sich hieraus zu 0,055.


Abb. 7.
Graphische Darstellung der Versuchsresultate.
Ordinaten = Drainentfernungen d.
Abszissen = Hygroskopizitätswerte w.
Die gestrichelte Linie stellt die ursprüngliche Bestimmungskurve,
die ausgezogene Linie die gesetzmäßig berechnete Kurve dar.
Masstab:
1 cm = 1 m Entfernung
1 " 1% Hygroskopizität.
Hygroskopizitätswerte w in %
Drainentfernung d in m.



Es lassen sich nun für die Hygroskopizität der einzelnen Bodenproben sämtliche zugehörigen Drainentfernungen nach Gleichung 2 berechnen. Der Wert w_0 für die Entfernung O, also der Anfangspunkt der Kurve, ergibt sich aus der Gleichung:

$$\log w_0 = c \cdot d_1 + \log w_1$$

$$\log w_0 = 0{,}055 \cdot 6 + \log 19{,}55 = 1{,}6211;\ w_0 = 41{,}80.$$

Er besagt, daß bei einer äußeren Bodenoberfläche = 41,8 % Hygroskopizität jede Drainage in der üblichen Tiefe zwecklos ist.

Wir erhalten also für jede beliebige Hygroskopizität (w_1) die zugehörige Strangentfernung (d_1) aus der Gleichung:

$$d_1 = \frac{1{,}6211 - \log w_1}{0{,}055}$$

Nach dieser Gleichung ergeben sich die für die einzelnen Bodenproben berechneten Strangentfernungen, maßgebend für die jetzt allgemein übliche Querdrainage, wie folgt:

Nr. der Bodenprobe	w	d m	Nr. der Bodenprobe	w	d m	Nr. der Bodenprobe	w	d m
—	41,80	0	8	6,45	14,75	10	4,22	18,11
44	19,55	6,0	39	6,00	15,33	37	4,14	18,26
45	17,30	7,0	15	5,95	15,40	7	4,06	18,41
24	16,52	7,30	21	5,64	15,81	18	4,04	18,45
43	14,56	8,33	2	5,46	16,07	34	4,00	18,53
40	14,46	8,38	30	5,21	16,44	1	3,83	18,87
23	13,39	8,98	35	5,20	16,45	16	3,48	19,65
42	12,38	9,61	32	5,06	16,67	9	3,44	19,72
41	12,34	9,63	4	4,82	17,05	19	3,14	20,44
28	11,75	10,02	13	4,72	17,22	17	2,93	20,99
25	11,66	10,08	11	4,71	17,24	33	2,88	21,12
29	11,49	10,20	14	4,68	17,29	6	1,95	24,20
26	11,03	10,52	38	4,61	17,41	20	1,83	24,70
27	10,80	10,69	31	4,50	17,60	5	1,52	26,17
12	9,48	11,71	3	4,26	18,03			
36	6,58	14,58	22	4,24	18,09			

Trägt man nun diese Resultate in das Koordinatensystem ein, so ergibt sich die ausgezogene Kurve, welche von der ursprünglichen Bestimmungskurve nur sehr geringe Abweichungen zeigt.

Die Gesetzmäßigkeit, welche durch die Kurve ausgedrückt wird, setzt uns nun in den Stand, die für irgend einen Boden erforderliche

Drainentfernung direkt abzulesen, wenn uns seine Hygroskopizität bekannt ist, vorausgesetzt, daß wir es mit Mineralboden und nicht etwa mit Moorboden zu tun haben.

Danach ist z. B. folgende Drainentfernung bei Bodenarten von nachstehender Hygroskopizität erforderlich:

Entfernung der Drains m	Hygroskopizität %	Entfernung der Drains m	Hygroskopizität %
5	22,20	16	5,51
6	19,55	17	4,85
7	17,22	18	4,28
7,5	16,17	19	3,77
8	15,18	20	3,32
9	13,37	21	2,93
10	11,78	22	2,58
11	10,38	24	2,00
12	9,14	25	1,76
13	8,06	26	1,55
14	7,10	28	1,21
15	6,25	30	0,94

Es bedürfen nun noch die verschiedenen Abweichungen einzelner Bodenproben der Untersuchung.

Zunächst haben einige Proben in der oberen Schicht eine höhere Hygroskopizität ergeben als im Untergrund. Es sind dies die Böden Nr. 7, 15, 20, 27, 28 und 33. Sie zeigen sämtlich durch ihre dunkle Farbe, daß sie sehr humushaltig sind und daher die größere Hygroskopizität auf ihre innere Bodenoberfläche zurückzuführen ist. Es lagen daher keine Bedenken vor, diese Proben lediglich auf Grund der Hygroskopizität des Untergrundes in die übrigen einzuordnen.

Von den Böden, für welche sich nun auf Grund der gefundenen Gesetzmäßigkeit eine wesentliche Abweichung der Drainentfernung von der zur Ausführung gelangten Entfernung ergibt, kommen zuerst die Proben 23 bis 29 (Neumühl) in Betracht. Es handelt sich hierbei durchweg um schwere Tonböden, die schon nach der „schlesischen Anweisung“ mit 10—12 m drainiert werden sollen. Die angewandte Entfernung von 12—14 m ist daher zweifellos zu groß. Da die Drainage erst im vorigen Jahre ausgeführt worden ist, liegen zwar Erfahrungen noch nicht vor, es wird sich aber die Unzulänglichkeit

der Drainage sehr bald herausstellen. Nach der graphischen Tafel ist für diese Böden eine Entfernung von 7,3 bis 10,69 m erforderlich.

Für den Boden von Ellwangen, Nr. 41, hält FAUSER eine Entfernung von etwa 8 m für erforderlich; er soll nach der Tabelle 9,63 m erhalten.

Boden Nr. 7 ist mit 14 m Entfernung drainiert, während 18,41 m ausreichen würden. Da der Boden fast durchweg ein sandiger Lehm ist, der nur an einzelnen Stellen etwas bindiger ist, so wird dies auch zutreffen.

Die Abweichung bei Nr. 8 ist nur daraus zu erklären, daß die Probe für den Drainage - Entwurf an einer Stelle mit besonders schwerem Boden entnommen ist. Da ringsum der Boden leichter ist, so ergibt sich naturgemäß eine leichtere Durchschnittsprobe und statt der angewandten Strangentfernung von 12 m eine solche von 14,75 m.

Boden Nr. 39 muß eine Drainageentfernung von 15,33 m anstatt 20 m erhalten. Die zu weite Drainage wurde schon bei der Probeentnahme vor der Untersuchung des Bodens im Laboratorium auf Grund der technischen Erfahrungen festgestellt.

Dasselbe gilt von Boden Nr. 11 und 38.

Der Boden Nr. 1 ist mit 14 m drainiert, im allgemeinen aber als sandiger Lehm zu bezeichnen, für welchen die gefundene Entfernung von 18,87 m als zutreffend bezeichnet werden kann. (Nach der „schlesischen Anweisung“ 16—20 m).

Für Probe Nr. 20 ergeben sich 24,70 statt 20 m Entfernung. Der Boden ist also etwas leichter, als bei der Drainage angenommen wurde.

Boden Nr. 9 ist schon nach dem örtlichen Befund mit 16 m entschieden zu eng drainiert. Es wird die auf 19,72 m bestimmte Entfernung zweifellos ausreichend sein.

Bei den Proben 17, 18 und 19 hat schon der Augenschein ergeben, daß 17 und 19 sich ähnlich und leichter als 18 waren. Die Untersuchung hat dies vollkommen bestätigt. Die Entfernung kann durchweg etwas größer sein.

Der Boden Nr. 33 ist ein sehr leichter, der mit 18 m drainiert ist und für den 21,12 m Entfernung sich ergeben haben; dies ist zweifellos ausreichend. Die engere Lage der Drains dürfte auf die große Nässe zurückzuführen sein, die der Boden vor der Drainage zeigte.

Dasselbe hat auch für Nr. 20 Geltung.

Alle übrigen Abweichungen sind sehr geringfügig und bewegen sich innerhalb der zulässigen Grenzen, die nach der „schlesischen Anweisung“ gezogen sind.

6. Praktische Verwertung der neuen Methode.

Die Resultate der Untersuchungen haben uns gezeigt, daß uns in der Hygroskopizität des Bodens ein Mittel an die Hand gegeben ist, welches es gestattet, mit viel größerer Sicherheit die für jeden Boden zweckmäßigste Drainentfernung zu bestimmen, als es bisher mit irgend einer anderen Methode möglich war. *Die Wichtigkeit, welche* MITSCHERLICH *der Kenntnis der Hygroskopizität bezw. der Bodenoberfläche beimißt, hat durch die Untersuchungen vollste Bestätigung erhalten, und es scheint mir diese Größe in der Bodenforschung noch viel größere Bedeutung zu beanspruchen, als man bisher geglaubt haben mag.*

Unberücksichtigt sind bislang noch einige Nebenfaktoren geblieben, welche nachweislich auch noch einen Einfluß auf die Durchlässigkeit eines Bodens und damit auch auf die Entfernung der Drains ausüben, das ist der Gehalt des Bodens an Kalk und Eisen. Es ist bekannt, daß der Kalk günstig, der Eisengehalt dagegen ungünstig auf die Durchlässigkeit einwirkt. Danach hätten wir also in besonderen Fällen noch eine Korrektur der Ergebnisse vorzunehmen, wenn nicht — was vorauszusehen ist, wofür uns aber bislang noch ausreichendes Belegmaterial fehlt! — durch diese Substanzen die kolloidale Beschaffenheit des Bodens und somit seine Oberfläche resp. Hygroskopizität wesentlich beeinflußt wird.

PEARSON[1]) fand bei Durchlässigkeitsversuchen, daß bei einer geringen Zugabe von nur $^1/_4$ bis $^1/_2$ % Aetzkalk die Wasserdurchlässigkeit sich je nach dem Boden um das Doppelte bis 13fache steigerte. Damit scheint eine Vergrößerung des Drainabstandes bei kalkhaltigem Boden begründet. Es entspricht dem auch ganz die Tatsache, daß der Kalk eine etwa dem Sand nahekommende sehr geringe Hygroskopizität hat.[2])

KRÜGER[3]) gibt die zulässige Vergrößerung der Strangentfernung bei Anwesenheit von Kalk im Boden wie folgt an:

bei 15%	kohlensaurem	Kalk	0,5 m
„ 30%	„	„	1,0 m
„ 50%	„	„	2,0 m
„ 70%	„	„	2,5 m

Diese Angaben sollen sich bewährt haben.

KOPECKY hält bei einem Gehalt von 1 % Eisenoxyd schon bei leichterem Boden eine Verminderung von 1 bis 2 m für erforderlich.

---

[1]) RAMANN: Bodenkunde. Berlin 1905. S. 256.

[2]) E. A. MITSCHERLICH: Bodenkunde. S. 71.

[3]) KRÜGER: Jahrbuch der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft. Jahrgang 1910. S. 121.

Es wäre sehr wünschenswert, wenn in bezug auf den Einfluß von Kalk und Eisen auf die Entfernung der Drains bald eingehendere Untersuchungen angestellt werden möchten.

Bei den ausgeführten Versuchen hat es sich nur um mineralische Böden gehandelt. Da jedoch auch auf dem Gebiete der *Moorkultur* in neuerer Zeit die Entwässerung durch offene Gräben immer mehr durch die Drainage verdrängt wird, so kommt auch für Moorboden die zweckmäßigste Entfernung der Drains in Frage. Wenn nun auch die einzelnen Moore hinsichtlich ihrer chemischen Beschaffenheit sowohl als auch in bezug auf ihren Zersetzungszustand wesentliche Verschiedenheiten aufweisen, so sind die Unterschiede in physikalischer Beziehung doch nicht so groß, um für jeden Einzelfall eine Bestimmung der Drainentfernung durch eingehende Untersuchungen notwendig zu machen. Die Bodenoberfläche bezw. die Hygroskopizität würde uns zweifellos auch hier gute Dienste leisten; es würde aber dazu die Bestimmung der äußeren Bodenoberfläche erforderlich sein. Eine Methode hierfür, die jedoch nicht so genau ist, wie die der Hygroskopizität, ist neuerdings von MITSCHERLICH und seinen Mitarbeitern ausgearbeitet worden.[1]) Durch die Forschungen der Moorversuchsstationen und die vielen praktischen Versuche in allen Moorgebieten, nicht zuletzt in den ostpreußischen Mooren, ist es auch bereits gelungen, genügend sichere Grundlagen für die zweckmäßigste Tiefe und Entfernung der Drainage in Moorboden zu erlangen. Eine Ausdehnung meiner Untersuchungen auch auf Moorboden konnte aus diesen Gründen unterbleiben.

Es bleibt nun noch eine wichtige Frage offen: „Wie kann die Untersuchung des Bodens auf seine Hygroskopizität einfacher und für die Praxis brauchbar gestaltet werden?“

Wollte man die Probeentnahme genau so vornehmen, wie es für meine Untersuchungen notwendig und zweckmäßig schien, so würde dies in der Praxis auf erhebliche Schwierigkeiten stoßen. Es würde bei großen Drainage-Projekten von mehreren Hundert bis Tausenden von ha Umfang, wie sie z. B. in Ostpreußen durchaus keine Seltenheit sind, eine so ungeheure Zahl von Proben ergeben, daß deren Untersuchung die Fertigstellung der Projekte erheblich verzögern würde. Wir werden also gezwungen sein, die Probeentnahme zu vereinfachen. Trotzdem aber wird sich der ganze Vorgang niemals so einfach gestalten lassen, wie es bisher bei der üblichen primitiven Methode der Fall war. Darüber müssen wir uns von vornherein klar sein. Ich stelle mir nun die Vereinfachung des Verfahrens etwa folgender-

[1]) Ldw. Jahrb. 1911. S. 645 ff.

maßen vor: Zunächst wird man zweckmäßig die bisher in Preußen übliche Methode beibehalten, nämlich daß man in weitläufigen Abständen (nach der „schlesischen Anweisung“ auf mindestens je 5 ha Fläche eine Probe) Bohrungen vornimmt, um auf Grund derselben einen Überblick über die allgemeinen Bodenverhältnisse zu gewinnen. Die Flächen mit leichterem oder schwererem Boden werden alsdann auf der Karte kenntlich gemacht und abgegrenzt. Nun entnimmt man mittels des Bohrers von jeder dieser Flächen 5 bis 10 weitere Proben, welche zu einer Mittelprobe vereinigt werden. Von den auf diese Weise erhaltenen Durchschnittsproben bestimmt man die Hygroskopizität.

Bisher wurde davon ausgegangen, daß man es in der oberen Bodenschicht, abgesehen von der Ackerkrume, bis zur Tiefe der Drains mit einigermaßen gleichartigem Boden zu tun hat. Dies ist auch meistens der Fall. Doch kommen auch Fälle vor, in denen verhältnismäßig dünne Schichten von verschiedener physikalischer Beschaffenheit aufeinander gelagert sind. Es ist bereits früher nachgewiesen worden, daß die Durchlässigkeit hier durch die undurchlässigste Schicht bedingt wird, und daß es dabei auf die Stärke derselben weniger ankommt. Wohl aber ist es für die Wirkung der Drainage wesentlich, in welcher Tiefe diese undurchlässige Schicht sich befindet. Wird sie unter 1 m Tiefe liegen, so wird sie auf die Wirkung der Drainage kaum noch einen wesentlichen Einfluß ausüben. Liegt sie dagegen höher, so werden wir sie berücksichtigen müssen. Wir werden in diesem Fall gut tun, von den einzelnen Schichten besondere Proben zu entnehmen und die Strangentfernung durch entsprechende Kombination bestimmen. Liegt die undurchlässige Schicht höher, so wird man die Entfernung geringer, liegt sie tiefer, so wird man den Abstand der Drains größer wählen können.

Zum Schluß möchte ich den Wunsch aussprechen, daß meine Darlegungen Anregung dazu geben möchten, künftig vor Ausführung von Drainagen der Untersuchung des Bodens mehr Aufmerksamkeit zu widmen, als es bisher bei uns in Preußen üblich war. Ich halte dies für viel wichtiger, als daß man bei der Prüfung und Ausführung der Projekte das Hauptaugenmerk, wie es leider oft geschieht, auf nebensächlichere Dinge richtet. Ich möchte ferner wünschen, daß die Bestimmung der Drainentfernung künftig, wenn auch zunächst nur versuchsweise, auf Grund der Hygroskopizität vorgenommen und dadurch die Methode auf ihre Zweckmäßigkeit und Zuverlässigkeit weiter geprüft werden möchte.

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit vom Sommer 1909 bis Ostern 1911 im Laboratorium des Landwirtschaftlichen Institutes, Abteilung für Pflanzenbau, ausgeführt.

Herrn Professor Mitscherlich spreche ich für seine liebenswürdige Unterstützung und stets freundlichen Rat meinen herzlichsten Dank aus.

Ferner möchte ich auch allen denen, welche mich bei der Entnahme der Bodenproben unterstützt und insbesondere denen, welche die Sache durch Übersendung von Bodenproben gefördert haben: den Herren Baurat Fauser-Ellwangen, Rittergutsbesitzer Frey-Brandschütz, Oberinspektor Römer-Groß-Peterwitz und Meliorationstechniker Lützow-Danzig, meinen aufrichtigen Dank aussprechen.



Lebenslauf.

Am 9. April 1872 wurde ich als Sohn des Landwirts und Gewerken Heinrich Breitenbach und seiner Frau Adolfine, geb. Diehl zu Mittelwilden, Kreis Siegen, geboren und bin evangelischer Konfession.

Nachdem ich zunächst zu Hause erzogen und unterrichtet worden war, besuchte ich von Ostern 1883 bis Herbst 1886 die höhere Privatschule zu Neunkirchen, Kreis Siegen. Ostern 1887 trat ich in die Wiesenbauschule zu Siegen ein und legte daselbst im März 1892 die theoretische Entlassungsprüfung ab, um sodann in den Dienst der Königlichen Generalkommission zu Kassel einzutreten.

Vom 6. bis 8. März 1893 bestand ich vor der hierzu berufenen Prüfungskommission zu Kassel die wissenschaftliche Einjährig-Freiwilligen-Prüfung, im Sommer 1905 die Prüfung als Wiesenbaumeister.

Am 1. Mai 1898 wurde ich auf meinen Wunsch an das Königliche Meliorations-Bauamt zu Kassel versetzt.

Im Herbst 1899 erfolgte meine Berufung nach Königsberg i. Pr. als Hauptfachlehrer an die Provinzialwiesenbauschule, welches Amt ich bis heute bekleide.

Im Sommer 1902 nahm ich an einem von der Moorversuchsstation zu Bremen im Auftrage des Ministeriums für Landwirtschaft, Domänen und Forsten eingerichteten Kursus für Moorkultur teil.

Seit dem Sommersemester 1906 widmete ich mich an der Königlichen Albertus-Universität zu Königsberg i. Pr. landwirtschaftlichen und naturwissenschaftlichen Studien, und zwar hörte ich die Vorlesungen folgender Herren Professoren und Dozenten:

Bergeat, Johnsen, Kaufmann, Mitscherlich, Rinne, Schmidt, Stutzer und Tornquist.

Allen meinen hochverehrten Lehrern spreche ich auch an dieser Stelle meinen aufrichtigsten Dank aus.

Robert Breitenbach.

